

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 3 年 1 2 月 1 0 日  
Date of Application:

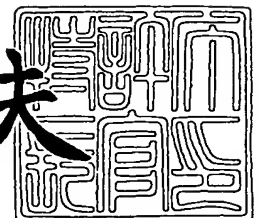
出 願 番 号                      特 願 2 0 0 3 - 4 1 2 3 3 2  
Application Number:  
[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 3 - 4 1 2 3 3 2 ]

出 願 人                      富士通株式会社  
Applicant(s):                      富士通メディアデバイス株式会社

2 0 0 4 年    1 月 1 5 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 4 - 3 0 0 0 1 5 4

【書類名】 特許願  
【整理番号】 0395305  
【提出日】 平成15年12月10日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01L 21/00  
G02B 26/08

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 ミイ シヤオユウ

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 上田 知史

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 奥田 久雄

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 壺井 修

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 曾根田 弘光

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 高馬 悟覚

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 佐脇 一平

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目 3 番地 1 2 富士通メディア  
デバイス株式会社内  
【氏名】 中村 義孝

【特許出願人】  
【識別番号】 000005223  
【氏名又は名称】 富士通株式会社

【特許出願人】  
【識別番号】 398067270  
【氏名又は名称】 富士通メディアデバイス株式会社

【代理人】  
【識別番号】 100086380  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 吉田 稔

【選任した代理人】  
【識別番号】 100103078  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 田中 達也  
【連絡先】 0 6 - 6 7 6 4 - 6 6 6 4  
【先の出願に基づく優先権主張】  
【出願番号】 特願2003-292553  
【出願日】 平成15年 8月12日  
【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 024198  
【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
【物件名】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【包括委任状番号】 9807281  
【包括委任状番号】 0103433

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

揺動部と、フレームと、当該揺動部およびフレームを連結する第 1 バネおよび第 2 バネと、を備え、

前記揺動部は、前記第 1 バネおよび前記第 2 バネの間に位置し、

前記第 1 バネおよび前記第 2 バネは、各々、前記揺動部の揺動動作に伴って撓み変形可能である、マイクロ揺動素子。

**【請求項 2】**

揺動部と、第 1 アクチュエート部と、第 2 アクチュエート部と、フレームと、前記揺動部および前記第 1 アクチュエート部を連結する第 1 薄肉部と、前記揺動部および前記第 2 アクチュエート部を連結する第 2 薄肉部と、前記第 1 アクチュエート部および前記フレームを連結する第 1 バネと、前記第 2 アクチュエート部および前記フレームを連結する第 2 バネと、を備え、

前記第 1 および第 2 アクチュエート部は、前記第 1 および第 2 バネの間に位置し、

前記揺動部は、前記第 1 および第 2 アクチュエート部の間に位置し、

前記第 1 および第 2 アクチュエート部の各々は、前記揺動部の揺動方向に変位可能であり、

前記第 1 バネは、前記第 1 アクチュエート部の変位に伴って撓み変形可能であり、

前記第 2 バネは、前記第 2 アクチュエート部の変位に伴って撓み変形可能である、マイクロ揺動素子。

**【請求項 3】**

前記第 1 および第 2 バネは板バネである、請求項 1 または 2 に記載のマイクロ揺動素子。

**【請求項 4】**

前記揺動部の揺動動作における揺動軸心を規定する少なくとも 1 つのトーションバーを更に備える、請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載のマイクロ揺動素子。

**【請求項 5】**

前記トーションバーにおける、前記揺動軸心に直交する断面は、十字形である、請求項 4 に記載のマイクロ揺動素子。

**【請求項 6】**

前記揺動部から前記揺動方向に離隔するベース部と、当該ベース部および前記揺動部を連結する第 3 バネとを、更に備える、請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載のマイクロ揺動素子。

**【請求項 7】**

前記第 3 バネは、前記第 1 および前記第 2 バネの離隔方向に離隔する一对のノッチを有する、請求項 6 に記載のマイクロ揺動素子。

**【請求項 8】**

揺動主部と、揺動可能な第 1 フレームと、第 2 フレームと、前記揺動主部および第 1 フレームを連結する第 1 バネおよび第 2 バネと、前記第 1 フレームおよび前記第 2 フレームを連結する第 3 バネおよび第 4 バネと、を備え、

前記揺動主部は、前記第 1 バネおよび前記第 2 バネの間に位置し、

前記第 1 バネおよび前記第 2 バネは、各々、前記揺動主部の揺動動作に伴って撓み変形可能であり、

前記第 1 フレームは、前記第 3 バネおよび前記第 4 バネの間に位置し、

前記第 3 バネおよび前記第 4 バネは、各々、前記第 1 フレームの揺動動作に伴って撓み変形可能である、マイクロ揺動素子。

**【請求項 9】**

前記揺動主部の揺動動作における第 1 揺動軸心を規定する少なくとも 1 つのトーションバーと、前記第 1 フレームの揺動動作における第 2 揺動軸心を規定する少なくとも 1 つのトーションバーと、を更に備える、請求項 8 に記載のマイクロ揺動素子。

【請求項 1 0】

前記第 1 揺動軸心および前記第 2 揺動軸心は交差する、請求項 9 に記載のマイクロ揺動素子。

## 【書類名】明細書

【発明の名称】マイクロ揺動素子

## 【技術分野】

【0001】

本発明は、回転変位可能な揺動部を有するマイクロ揺動素子に関する。特に、本発明は、光波を利用して精密測定を行うための光学計測装置、光ディスクに対してデータの記録・再生処理を行うための光ディスク装置、および、複数の光ファイバ間の光路の切り換えを行うための光スイッチング装置などの光学装置に組み込まれて、光の進路方向を変更するのに用いることのできるマイクロミラー素子に応用可能な、マイクロ揺動素子に関する。

## 【背景技術】

【0002】

近年、様々な技術分野において、マイクロマシニング技術により形成される微小構造を有するMEMS (Micro-Electro-Mechanical-System) デバイスの応用化が図られている。例えば光通信技術の分野においては、光反射機能を有する微小なマイクロミラー素子が注目されている。

【0003】

マイクロミラー素子は、光を反射するためのミラー面を備え、当該ミラー面の揺動により光の反射方向を変化させることができる。ミラー面を揺動するうえで静電力を利用する静電駆動型のマイクロミラー素子が、多くの光学装置で採用されている。静電駆動型マイクロミラー素子は、いわゆる表面マイクロマシニング技術により製造されるマイクロミラー素子と、いわゆるバルクマイクロマシニング技術により製造されるマイクロミラー素子とに、大きく2つに類別することができる。

【0004】

表面マイクロマシニング技術では、基板上において、各構成部位に対応する材料薄膜を所望のパターンに加工し、このようなパターンを順次積層することにより、支持体、ミラー面および電極部など、素子を構成する各部位や、後に除去される犠牲層を形成する。このような表面マイクロマシニング技術によって製造される静電駆動型マイクロミラー素子は、例えば下記の特許文献1に記載されている。一方、バルクマイクロマシニング技術では、材料基板自体をエッチングすることにより支持体やミラー部などを所望の形状に成形し、必要に応じてミラー面や電極を薄膜形成する。バルクマイクロマシニング技術については、例えば下記の特許文献2～5に記載されている。

【特許文献1】特開平7-287177号公報

【特許文献2】特開平9-146032号公報

【特許文献3】特開平9-146034号公報

【特許文献4】特開平10-62709号公報

【特許文献5】特開2001-13443号公報

【0005】

マイクロミラー素子に要求される技術的事項の1つとして、光反射を担うミラー面の平面度が高いことが挙げられる。しかしながら、表面マイクロマシニング技術によると、最終的に形成されるミラー面が薄いためにミラー面が湾曲しやすく、従って、広面積のミラー面において高い平面度を達成するのが困難である。これに対し、バルクマイクロマシニング技術によると、相対的に分厚い材料基板自体をエッチング技術により削り込んでミラー部を形成して当該ミラー部上にミラー面を設けるため、広面積のミラー面であっても、ミラー部の剛性を確保しやすい。したがって、バルクマイクロマシニング技術は、十分に高い光学的平面度を有するミラー面を形成するうえで好適である。

【0006】

図24および図25は、バルクマイクロマシニング技術によって作製される従来の静電駆動型マイクロミラー素子X6を表す。図24は、マイクロミラー素子X6の分解斜視図であり、図25は、組み立てられた状態のマイクロミラー素子X6における図24の線XX

V-XXVに沿った断面図である。

【0007】

マイクロミラー素子X6は、ミラー基板60とベース基板66とが積層する構造を有する。ミラー基板60は、ミラー部61と、フレーム62と、これらを連結する一対のトーションバー63とからなる。導電性を有するシリコン基板などの所定の材料基板に対して、その片面側からエッチングを施すことにより、ミラー基板60におけるミラー部61、フレーム62、および一対のトーションバー63の外郭形状を成形することができる。ミラー部61の表面には、ミラー面64が設けられている。ミラー部61の裏面には、一対の電極65a、65bが設けられている。一対のトーションバー63は、ミラー部61の後述の揺動動作における回転軸心A6を規定する。ベース基板66には、ミラー部61の電極65aに対向する電極67a、および、電極65bに対向する電極67bが設けられている。

【0008】

マイクロミラー素子X6においては、ミラー基板60のフレーム62に電位を付与すると、フレーム62と同一の導体材料により一体的に成形されている一対のトーションバー63およびミラー部61を介して、電極65aおよび電極65bに電位が伝達される。したがって、フレーム62に所定の電位を付与することにより、電極65a、65bを例えば正に帯電させることができる。この状態において、ベース基板66の電極67aを負に帯電させると、電極65aと電極67aの間に静電引力が発生し、ミラー部61は、図25に示すように、一対のトーションバー63を振りながら矢印M6の方向に揺動する。ミラー部61は、電極間の静電引力と各トーションバー63の振り抵抗力の総和とが釣り合う角度まで揺動し得る。これに代えて、ミラー部61の電極65a、65bを正に帯電させた状態で電極67bを負に帯電させると、電極65bと電極67bの間に静電引力が発生し、ミラー部61は、矢印M6とは反対の方向に揺動し得る。以上のようなミラー部61の揺動駆動により、ミラー面64により反射される光の反射方向を切り換えることができる。

【0009】

マイクロミラー素子X6において動作の高速化の要請に応えるべくミラー部61の共振周波数を高める（例えば数百kHz以上）には、従来の技術においては、トーションバー63の振り方向の剛性（振り剛性）を高くしてミラー部61の回転剛性を高くする手法や、ミラー部61の質量を小さくしてその慣性モーメント（軸心A6に対する断面二次極モーメント）を小さくする手法が採用される場合がある。一般に、素子のミラー部（回転動作する部位）の共振周波数は、下記の式（1）で表すことができる。式（1）において、 $f_0$ はミラー部の共振周波数であり、 $K$ はミラー部の回転剛性であり、 $I$ はミラー部の慣性モーメント（軸心に対する断面二次極モーメント）である。

【0010】

【数1】

$$f_0 = \sqrt{\frac{K}{I}} \quad \dots \quad (1)$$

【0011】

式（1）によると、マイクロミラー素子X6のミラー部61については、その回転剛性が高いほど、或は、その慣性モーメントが高いほど、高い共振周波数が得られることが理解できよう。トーションバー63の振り剛性が高いほど、ミラー部61の回転剛性は高くなり、ミラー部61が一方向に揺動する際に当該トーションバー63に蓄積されるポテンシャルエネルギーは大きく、従って、当該一方向揺動の後にミラー部61が逆方向に揺動する際にトーションバー63から解放されてミラー部61の運動エネルギーに変換されるポテンシャルエネルギーの量は大きく、高共振周波数を得るうえで好適である。また、ミラー部61の慣性モーメントが小さいほど、ミラー部61の所定の揺動動作に要する駆動力は小

さいので、高共振周波数を得るうえで好適である。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

トーションバー63の捩り剛性を高くする手法としては、当該トーションバー63の断面積を増加させるようにその厚さや幅を拡大することが知られている。しかしながら、トーションバー63の厚さについては、実用的には、ミラー部61の厚さ以下に設定しなければならない。トーションバー63の厚さがミラー部61の厚さを超える場合、トーションバー63の捩り剛性が過度に大きくなるので、ミラー部61の駆動力を発生させても当該トーションバー63が適切に捩れずにミラー部61が積極的に変形してしまう傾向がある。また、トーションバー63の幅を不当に大きく設定する場合も、トーションバー63の捩り剛性が過度に大きくなるので、ミラー部61の駆動力を発生させても当該トーションバー63が適切に捩れずにミラー部61が積極的に変形してしまう傾向がある。

【0013】

一方、ミラー部61の重量を小さくしてその慣性モーメントを小さくする手法としては、当該ミラー部61を薄くすることが知られている。しかしながら、ミラー部61が薄いほど、ミラー部61自体が撓みやすくなり、ミラー面64の平面性を確保することが困難となる傾向にある。ミラー面64の平面性が十分に確保できない場合、マイクロミラー素子X6において適切な光反射機能を実現することはできない。

【0014】

このように、従来の技術は、マイクロミラー素子ないしマイクロ揺動素子を高い共振周波数で動作させるのに困難性を有するのである。

【0015】

本発明は、このような事情のもとで考え出されたものであって、高い共振周波数で動作させるのに適したマイクロ揺動素子を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明の第1の側面により提供されるマイクロ揺動素子は、揺動部と、フレームと、当該揺動部およびフレームを連結する第1バネおよび第2バネと、を備える。揺動部は、第1バネおよび第2バネの間に位置する。第1バネおよび第2バネは、各々、揺動部の揺動動作に伴って撓み変形可能である。

【0017】

このような構成を有するマイクロ揺動素子においては、揺動部の揺動動作に伴って撓み変形する第1および第2バネにより、揺動部の回転剛性を得ることができる。第1および第2バネは、各々、その撓み剛性ないし曲げ剛性に由来する撓み抵抗を、揺動部の揺動動作に対して作用させるからである。これは、揺動部とフレームとを連結して当該揺動部の揺動動作における揺動軸心を規定するトーションバーが仮に存在する場合に、当該トーションバーがその捩り剛性に由来する捩り抵抗を揺動動作に対して作用させるのと、物理的に等価な事象である。したがって、本発明の第1の側面に係るマイクロ揺動素子においては、第1および第2バネの撓み剛性を適宜調節することにより揺動部について所望の高回転剛性を得ることが可能である。また、本素子では、揺動部およびフレームを連結するトーションバーを採用せずとも揺動部が適切に揺動するように構成することも可能である。

【0018】

また、本発明の第1の側面における揺動部の所定の揺動端には揺動方向に駆動力が作用するところ、揺動部の揺動動作に伴って撓み変形する第1および第2バネは、各々、当該揺動部ないしその揺動端に対し、揺動方向とは逆の方向に引張り力を作用させる。したがって、本発明の第1の側面に係るマイクロ揺動素子においては、揺動部について充分な薄肉化を達成して所望の小さな慣性モーメントを達成できるとともに、第1および第2バネの撓み剛性を適宜調節することにより揺動部が揺動方向に不当に変形することを回避することができる。



## 【0019】

以上のように、本発明の第1の側面に係るマイクロ揺動素子においては、揺動部について、高い回転剛性を得るとともに、小さな慣性モーメントを達成することが可能なのである。このようなマイクロ揺動素子は、高速揺動動作を実現すべく高い共振周波数で動作させるうえで好適である。

## 【0020】

本発明の第2の側面によると他のマイクロ揺動素子が提供される。このマイクロ揺動素子は、揺動部と、第1アクチュエート部と、第2アクチュエート部と、フレームと、揺動部および第1アクチュエート部を連結する第1薄肉部と、揺動部および第2アクチュエート部を連結する第2薄肉部と、第1アクチュエート部およびフレームを連結する第1バネと、第2アクチュエート部およびフレームを連結する第2バネと、を備える。第1および第2アクチュエート部は、第1および第2バネの間に位置する。揺動部は、第1および第2アクチュエート部の間に位置する。第1および第2アクチュエート部の各々は、揺動部の揺動方向に並進変位可能である。第1バネは、第1アクチュエート部の変位に伴って撓み変形可能である。第2バネは、第2アクチュエート部の変位に伴って撓み変形可能である。第1および第2アクチュエート部は、揺動部の揺動動作における駆動力を発生させるためのアクチュエータの少なくとも一部を構成する部位である。例えば、静電駆動型マイクロ揺動素子として本素子を構成する場合には、第1アクチュエート部は、静電力を発生するための一対の電極のうち的一方または当該電極が設けられる部位を構成し、第2アクチュエート部は、静電力を発生するための他の一対の電極のうち的一方または当該電極が設けられる部位を構成する。

## 【0021】

このような構成を有するマイクロ揺動素子においては、揺動部の揺動動作に伴って撓み変形する第1および第2バネにより、揺動部の回転剛性を得ることができる。第1バネは、その撓み剛性ないし曲げ剛性に由来する撓み抵抗を、第1アクチュエート部および第1薄肉部を介して揺動部の揺動動作に対して作用させ、第2バネは、その撓み剛性ないし曲げ剛性に由来する撓み抵抗を、第2アクチュエート部および第2薄肉部を介して揺動部の揺動動作に対して作用させるからである。したがって、本発明の第2の側面に係るマイクロ揺動素子においても、第1の側面に係るマイクロ揺動素子におけるのと同様に、第1および第2バネの撓み剛性を適宜調節することにより揺動部について所望の高回転剛性を得ることが可能である。

## 【0022】

また、本発明の第2の側面における揺動部の所定の揺動端には揺動方向に駆動力が作用するところ、揺動部の揺動動作に伴って撓み変形する第1バネは、第1アクチュエート部および第1薄肉部を介して、当該揺動部ないしその一方の揺動端に対し、揺動方向とは逆の方向に引張り力を作用させる。また、揺動部の揺動動作に伴って撓み変形する第2バネは、第2アクチュエート部および第2薄肉部を介して、当該揺動部ないしその他方の揺動端に対し、揺動方向とは逆の方向に引張り力を作用させる。したがって、本発明の第2の側面に係るマイクロ揺動素子においても、第1の側面に係るマイクロ揺動素子におけるのと同様に、揺動部について十分な薄肉化を達成して所望の小さな慣性モーメントを達成できるとともに、第1および第2バネの撓み剛性を適宜調節することにより揺動部が揺動方向に不当に変形することを回避することができる。

## 【0023】

以上のように、本発明の第2の側面に係るマイクロ揺動素子においては、揺動部について、高い回転剛性を得るとともに、小さな慣性モーメントを達成することが可能なのである。

## 【0024】

本発明の第1および第2の側面において、好ましくは、第1および第2バネは、板バネである。板状のバネは、所望の撓み剛性を有するバネをバルクマイクロマシニング技術により形成するうえで好適である。

**【0025】**

本発明の第1および第2の側面に係るマイクロ揺動素子は、揺動部の揺動動作における揺動軸心を規定する少なくとも1つのトーションバーを備えていてもよい。この場合、トーションバーにおける、揺動軸心に直交する断面は、十字形であるのが好ましい。トーションバーの断面積は、揺動軸心に沿って変化してもよい。これらのような構成を有するトーションバーは、揺動部について所定の軸心まわりの揺動動作を実現するうえで好適である。

**【0026】**

第1バネ、第2バネ、およびトーションバーの少なくとも1つは、剛性調整手段を備えているのが好ましい。剛性調整手段は、例えば、バネやトーションバーに形成された単一または複数の穴である。この場合、単一または複数の穴は、バネやトーションバーを、肉厚方向に貫通していてもよいし幅方向に貫通していてもよい。複数の穴の一部が、バネやトーションバーを肉厚方向に貫通し、且つ、複数の穴の他の一部が、バネやトーションバーを幅方向に貫通していてもよい。或は、剛性調整手段は、複数の補強リブの形態を有してもよい。これら補強リブは、例えば、バネやトーションバーの幅方向および／または厚さ方向に突出する。或は、第1バネ、第2バネ、またはトーションバーの幅は、揺動部、第1アクチュエート部、または第2アクチュエート部から、フレームにかけて、変化していてもよい。これに代えて、又は、これと共に、第1バネ、第2バネ、またはトーションバーの厚さは、揺動部、第1アクチュエート部、または第2アクチュエート部から、フレームにかけて、変化していてもよい。これらのような構成によっても、第1バネ、第2バネ、またはトーションバーについて、撓み剛性や捩り剛性を調整することが可能である。

**【0027】**

本発明の第1および第2の側面に係るマイクロ揺動素子において、第1バネと第2バネは、当該素子ないし揺動部の厚さ方向において相互に位置ずれていてもよい。また、揺動部を介して対向する一对のトーションバーを素子が備える場合には、当該一对のトーションバーは、当該素子ないし揺動部の厚さ方向において相互に位置ずれていてもよい。

**【0028】**

本発明の第1および第2の側面に係るマイクロ揺動素子は、好ましくは、揺動部から揺動方向に離隔するベース部と、当該ベース部および揺動部を連結する第3バネとを、更に備える。この場合、好ましくは、第3バネは、第1および第2バネの離隔方向に離隔する一对のノッチを有する。このような第3バネによると、揺動部について所定の揺動軸心を規定するうえで好適である。

**【0029】**

本発明の第1および第2の側面に係るマイクロ揺動素子は、好ましくは、揺動部の揺動動作における駆動力を発生させるためのアクチュエータを更に備える。この場合、アクチュエータにより発生される駆動力（駆動トルク）の周波数と、揺動部の揺動動作における共振周波数との差は、当該共振周波数の1%以内であるのが好ましい。アクチュエータは、例えば、揺動部に設けられた可動電極とベース部に設けられた固定電極とからなる静電駆動アクチュエータである。或は、アクチュエータは、揺動部とベース部とにそれぞれ設けられた磁石およびコイルを含む電磁アクチュエータである。或は、アクチュエータは、バネやトーションバーに結合された圧電素子により構成される。

**【0030】**

好ましくは、揺動部は、光学要素を備えている。マイクロ揺動素子がマイクロミラー素子である場合には、光学要素は、光を反射するミラー面である。ミラー面に代えて、回折格子、光源、または光検出器を揺動部に設けることによって、本発明に係るマイクロ揺動素子を他の機能素子として構成することもできる。

**【0031】**

本発明の第1および第2の側面に係るマイクロ揺動素子は、フレームと揺動部の相対回転変位を検出する変位検出手段を備えていてもよい。このような構成は、揺動部について高精度な揺動動作を実現するうえで好適である。

## 【0032】

本発明の第3の側面によると他のマイクロ揺動素子が提供される。このマイクロ揺動素子は、揺動主部と、揺動可能な第1フレームと、第2フレームと、揺動主部および第1フレームを連結する第1バネおよび第2バネと、第1フレームおよび第2フレームを連結する第3バネおよび第4バネと、を備える。揺動主部は、第1バネおよび第2バネの間に位置する。第1バネおよび第2バネは、各々、揺動主部の揺動動作に伴って撓み変形可能である。第1フレームは、第3バネおよび第4バネの間に位置する。第3バネおよび第4バネは、各々、第1フレームの揺動動作に伴って撓み変形可能である。

## 【0033】

本発明の第3の側面に係るマイクロ揺動素子の構成は、第1の側面に係るマイクロ揺動素子に対して上述のような第2フレーム、第3バネ、および第4バネを付設した構成に相当する。したがって、本発明の第3の側面によると、第1の側面における揺動部について上述したのと同様に、揺動主部について、高い回転剛性を得るとともに、小さな慣性モーメントを達成することが可能である。加えて、本発明の第3の側面によると、第1の側面における揺動部について上述したのと同様に、第1フレームについて、高い回転剛性を得るとともに、小さな慣性モーメントを達成することが可能である。このようにして、本発明の第1の側面に係るマイクロ揺動素子は、多軸型マイクロ揺動素子として構成することができる。同様に、本発明の第2の側面に係るマイクロ揺動素子についても、多軸型マイクロ揺動素子として構成することができる。

## 【0034】

本発明の第3の側面において、好ましくは、第1バネおよび第2バネの離隔方向と、第3バネおよび第4バネの離隔方向とは、交差する。この場合、好ましくは、揺動主部の揺動動作における第1揺動軸心を規定する少なくとも1つのトーションバーと、第1フレームの揺動動作における第2揺動軸心を規定する少なくとも1つのトーションバーと、を更に備える。第1揺動軸心および第2揺動軸心は交差するのが好ましい。第1揺動軸心および第2揺動軸心の交差角度は例えば90°である。

【発明を実施するための最良の形態】

## 【0035】

図1および図2は、本発明の第1の実施形態に係るマイクロミラー素子X1を表す。図1は、マイクロミラー素子X1の斜視図であり、図2は、図1の線II-IIに沿った断面図である。マイクロミラー素子X1は、ミラー基板10とベース基板20とが絶縁層30を介して積層する構造を有する。

## 【0036】

ミラー基板10は、ミラー部11と、これを囲むフレーム12と、当該ミラー部11およびフレーム12を連結する一対のバネ13A、13Bとを有する。ミラー基板10は、例えば、PやAsなどのn型不純物やBなどのp型不純物をドーピングすることによって導電性を付与されたシリコン製の基板から、バルクマイクロマシニング技術によって成形されたものである。具体的には、板状の導電性シリコン基板に対して、パターンニング用のマスクを用いて行うドライエッチングやウエットエッチングにより、ミラー部11、フレーム12、および一対のバネ13A、13Bが成形される。ドライエッチングとしては、例えばDeep RIE (Reactive Ion Etching)を採用することができる。ウエットエッチングを採用する場合、エッチング液としてはKOH溶液を採用することができる。具体的な製法については、本発明の要旨を構成しないので、詳細な説明を省略する。

## 【0037】

ミラー部11の表面にはミラー面11aが設けられ、且つ、その裏面には一対の可動電極14a、14bが設けられている。これらミラー面11aおよび可動電極14a、14bは、蒸着法などにより所定の金属材料を成膜した後に当該金属膜をパターンニングすることにより形成することができる。不純物のドーピングによってミラー基板10の導電性を十分に高く設定する場合には、ミラー部11の所定箇所自体が電極として機能し得るので、可動電極14a、14bを設けなくてもよい。

**【0038】**

ベース基板20は、例えばシリコン製であり、中央凹状となるようにバルクマイクロマシニング技術によって成形されている。ベース基板20の外周における凸状段部20aは、ミラー基板10のフレーム12に対応する形状を有し、絶縁層30を介して当該フレーム12に接合されている。絶縁層30は、例えば二酸化ケイ素(SiO<sub>2</sub>)からなる。また、ベース基板20の内底面には、ミラー部11の可動電極14a, 14bに対して適当な間隔を隔てて対向する一対の固定電極21a, 21bが設けられている。固定電極21aと上述の可動電極14aは、一組の電極からなるアクチュエータを構成する。同様に、固定電極21bと上述の可動電極14bは、一組の電極からなるアクチュエータを構成する。このように、マイクロミラー素子X1は、いわゆる平板電極型のアクチュエータを備えるものとして構成されている。

**【0039】**

バネ13A, 13Bは、ミラー部11内を通る当該ミラー部11の揺動軸心A1から離れた位置にあり、ミラー基板10をバルクマイクロマシニング技術によって加工することにより、ミラー部11およびフレーム12と一体に形成される。本実施形態においては、バネ13A, 13Bは、各々、フレーム12側が広く、ミラー部11側が狭い台形状であり、ミラー部11の幅方向および長さ方向に均一の厚みを有する。

**【0040】**

マイクロミラー素子X1においては、ミラー部11の可動電極14a, 14bを例えば正に帯電させた状態において、ベース基板20の固定電極21aを負に帯電させると、固定電極21aおよび可動電極14aの間に静電引力が発生し、ミラー部11は、バネ13Aを下方に撓ませながら揺動軸心A1を中心として図2の反時計回りの方向に揺動する。これに代えて、可動電極14a, 14bを正に帯電させた状態において固定電極21bを負に帯電させると、固定電極21bおよび可動電極14bの間に静電引力が発生し、ミラー部11はバネ13Bを下方に撓ませながら揺動軸心A1を中心として図2の時計回りの方向に揺動することとなる。このようなミラー部11の駆動に際しては、固定電極21aおよび可動電極14aの間に静電引力を発生させるとき、固定電極21bおよび可動電極14bの間に静電斥力を発生させ、且つ、固定電極21bおよび可動電極14bの間に静電引力を発生させるとき、固定電極21aおよび可動電極14aの間に静電斥力を発生させてもよい。この場合、バネ13A, 13Bは互いに反対方向に撓み変形し、ミラー部11の揺動軸心A1の位置が安定することとなる。また、アクチュエータの駆動信号周波数ないしアクチュエータによる駆動力(駆動トルク)と、ミラー部11の揺動動作における共振周波数との差は、当該共振周波数の1%以内とする。ミラー部11に発生する駆動力(駆動トルク)の周波数とミラー部11の共振周波数との差をこのような範囲に設定することにより、ミラー部11は揺動軸心A1まわりに良好に共振揺動することとなる。以上のようなミラー部11の揺動駆動により、ミラー面11aにより反射される光の反射方向を切り換えることができる。

**【0041】**

マイクロミラー素子X1の揺動駆動に際しては、バネ13Aおよび/またはバネ13Bは、その撓み剛性ないし曲げ剛性に由来する撓み抵抗を、ミラー部11の揺動動作に対して作用させる。したがって、マイクロミラー素子X1においては、バネ13A, 13Bの撓み剛性を適宜調節することによりミラー部11について所望の高回転剛性を得ることが可能である。

**【0042】**

また、マイクロミラー素子X1の揺動駆動に際しては、ミラー部11の一方の揺動端(ミラー部11において可動電極14aまたは可動電極14bが設けられている端部)には、揺動方向に駆動力が作用するところ、ミラー部11の揺動動作に伴って撓み変形するバネ13A, 13Bは、各々、ミラー部11の当該一方の揺動端に対し、揺動方向とは逆の方向に引張り力を作用させる。したがって、マイクロミラー素子X1においては、ミラー部11について十分な薄肉化を達成して所望の小さな慣性モーメントを達成できるとも

に、バネ 13 A, 13 B の撓み剛性を適宜調節することによりミラー部 11 が揺動方向に不当に変形することを回避することができる。

#### 【0043】

以上のように、マイクロミラー素子 X1 においては、ミラー部 11 について、高い回転剛性を得るとともに、小さな慣性モーメントを達成することが可能なのである。このようなマイクロミラー素子 X1 は、高速揺動動作を実現すべく高い共振周波数で動作させるうえで好適である。

#### 【0044】

図 3～図 9 は、各々、マイクロミラー素子 X1 においてバネ 13 A, 13 B に代えて採用することのできるバネ連結部の変形例を表す。マイクロミラー素子 X1 においては、求められる特性に応じて、各々が以下の形状を有する一対のバネ連結部をバネ 13 A, 13 B に代えて採用してもよい。

#### 【0045】

図 3 には、第 1 の変形例としてバネ 13 C を表す。バネ 13 C は、平面視が長方形で厚さが均一な単一の平板バネである。

#### 【0046】

図 4 には、第 2 の変形例としてバネ 13 D を表す。バネ 13 D は、平面視が長方形で厚さが均一な単一の平板バネであり、複数の穴 H1 を有する。穴 H1 は、バネ 13 D を肉厚方向に貫通し、バネ 13 D の剛性を調整する機能を有する。ミラー部 11 に求められる揺動特性（例えば周波数特性）に応じて、穴 H1 の密度、サイズ、および配置は設定される。また、穴 H1 の開口形状については、円形に限定されず、楕円形、矩形、三角形、または台形であってもよい。

#### 【0047】

図 5 には、第 3 の変形例として 2 個のバネ 13 E を表す。当該 2 個のバネ 13 E は、単一のバネ連結部を構成する。各バネ 13 E は、その拡大中央部にて穴 H2 を有し、この穴 H2 は、バネ 13 E を肉厚方向に貫通する。また、2 個のバネ 13 E は相互に略平行に配されている。

#### 【0048】

図 6 には、第 4 の変形例として 2 個のバネ 13 F を表す。当該 2 個のバネ 13 F は、単一のバネ連結部を構成し、フレーム 12 側からミラー部 11 にかけて次第に接近するように傾斜配置されている。各バネ 13 F には、その剛性を低下させるために、肉厚方向および／または幅方向に貫通する穴を設けてもよい。或は、各バネ 13 F には、その剛性を向上させるために、肉厚方向および／または幅方向に突出する補強リブを設けてもよい。

#### 【0049】

図 7 には、第 5 の変形例として、2 個のバネ 13 F とバネ 13 G とを表す。当該 2 個のバネ 13 F とバネ 13 G とは、単一のバネ連結部を構成する。2 個のバネ 13 F は、フレーム 12 側からミラー部 11 にかけて次第に接近するように傾斜配置されており、バネ 13 G は当該バネ 13 F 間に配されている。各バネ 13 F, 13 G において剛性を低下させるための穴や剛性を向上させるための補強リブを設けてもよいのは、第 4 の変形例と同様である。

#### 【0050】

図 8 には、第 6 の変形例としてバネ 13 H を表す。バネ 13 H は、平面視で略 A 字状に形成された単一のバネである。このバネ 13 H にも、剛性を低下させるための穴や、剛性を向上させるための補強リブを設けてもよい。

#### 【0051】

図 9 には、第 7 の変形例としてバネ 13 I を表す。バネ 13 I は、平面視で矩形であり、且つ、その肉厚は、ミラー部 11 とフレーム 12 との間で変化している。本変形例では、バネ 13 I の幅方向中央部にて肉厚が最も小さくなっているが、ミラー部 11 からフレーム 12 にかけて肉厚が漸減してもよいし、逆にフレーム 12 からミラー部 11 にかけて肉厚が漸減してもよい。更に、バネ 13 I には、剛性を低下させるための穴や、剛性を向

上させるための補強リブを設けてもよい。

#### 【0052】

マイクロミラー素子X1のアクチュエータとしては、図1および図2に示すような平板電極よりなるものに代えて、櫛歯電極よりなるものを採用してもよい。図10および図11は、可動電極14a、14bおよび固定電極21a、21bに代えて可動電極14a'、14b'および固定電極21a'、21b'が採用されているマイクロミラー素子X1を表す。図10は、図1の線II-IIに沿った断面に相当する断面図であり、図11は、図1の線XI-XIに沿った断面に相当する断面図である。可動電極14a'、14b'は、各々、ミラー部11からベース基板20の方向へ延出する電極歯からなる。固定電極21a'は、可動電極14a'に対応する箇所において、ベース基板20からミラー部11の方向へ延出する電極歯からなる。固定電極21b'は、可動電極14b'に対応する箇所において、ベース基板20からミラー部11の方向へ延出する電極歯からなる。固定電極21a'および可動電極14a'は、一組の櫛歯電極よりなるアクチュエータを構成する。同様に、固定電極21b'および可動電極14b'は、一組の櫛歯電極からなるアクチュエータを構成する。

#### 【0053】

マイクロミラー素子X1のアクチュエータとしては、平板電極や櫛歯電極などによる静電力型のものに代えて、電磁コイルや永久磁石などによる電磁力型のものを採用することもできる。具体的には、図1に示すマイクロミラー素子X1におけるミラー部11に設けられている可動電極14a、14bを電磁コイルに置き換え、ベース基板20に設けられている固定電極21a、21bを電磁コイルまたは永久磁石に置き換える。或は、ミラー部11に設けられている可動電極14a、14bを永久磁石に置き換え、ベース基板20に設けられている固定電極21a、21bを電磁コイルに置きかえる。これらの構成では、電磁コイルへの通電状態を調節することによって、ミラー部11を駆動することができる。また、圧電素子を利用して、ミラー部11を駆動するようにしてもよい。この場合、当該圧電素子はバネ13A、13Bに配設される。

#### 【0054】

図12～図14は、本発明の第2の実施形態に係るマイクロミラー素子X2を示す。図12は、マイクロミラー素子X2の斜視図である。図13は、図12の線XIII-XIIIに沿った断面図であり、図14は、図12の線XIV-XIVに沿った断面図である。マイクロミラー素子X2は、ミラー基板10とベース基板20とが絶縁層30を介して積層する構造を有し、ミラー基板10は、ミラー部11と、フレーム12と、一対のバネ13A、13Bと、一対のトーションバー15とを有する。マイクロミラー素子X2は、一対のトーションバー15を有する点においてマイクロミラー素子X1と異なり、他の構成およびその変形例についてはマイクロミラー素子X1と同様である。

#### 【0055】

一対のトーションバー15は、ミラー部11およびフレーム12に接続し、ミラー部11の揺動動作における揺動軸心A2を規定する。トーションバー15の各々は、十字形の断面形状を有する。具体的には、各トーションバー15は、素子の厚み方向に長い厚肉部15aと、この厚肉部15aの両側に延出する薄肉部15bとを有する。揺動軸心A2は、両トーションバー15の厚肉部15aを通る。また、単一のトーションバー15に含まれる両薄肉部15bは、揺動軸心A2に交差する方向に延びている。トーションバー15のこのような断面形状は、トーションバー15の捩れ剛性の獲得およびミラー部11における不当な変位の抑制の両方を効率よく達成するうえで好適である。厚肉部15aにより、ミラー基板10ないしミラー面11aに垂直な方向におけるミラー部11の並進変位が抑制され、薄肉部15bにより、ミラー基板10ないしミラー面11aの面内方向におけるミラー部11の回転変位が抑制される。

#### 【0056】

マイクロミラー素子X2においては、ミラー部11の可動電極14a、14bを例えば正に帯電させた状態において、ベース基板20の固定電極21aを負に帯電させると、固

定電極 21a および可動電極 14a の間に静電引力が発生し、ミラー部 11 は、バネ 13A を下方に撓ませ且つバネ 13B を上方に撓ませながら揺動軸心 A2 を中心として図 13 の反時計回りの方向に揺動する。これに代えて、可動電極 14a, 14b を正に帯電させた状態において固定電極 21b を負に帯電させると、固定電極 21b および可動電極 14b の間に静電引力が発生し、ミラー部 11 はバネ 13B を下方に撓ませ且つバネ 13A を上方に撓ませながら揺動軸心 A2 を中心として図 13 の時計回りの方向に揺動することとなる。以上のようなミラー部 11 の揺動駆動により、ミラー面 11a により反射される光の反射方向を切り換えることができる。

#### 【0057】

マイクロミラー素子 X2 においては、マイクロミラー素子 X1 に関して上述したのと同様にバネ 13A, 13B の存在に起因して、ミラー部 11 について、高い回転剛性を得るとともに、小さな慣性モーメントを達成することが可能である。加えて、マイクロミラー素子 X2 では、一对のトーションバー 15 がミラー部 11 の揺動動作における揺動軸心 A2 を規定しているので、より安定な揺動動作を実現しやすい。このようなマイクロミラー素子 X2 は、高速揺動動作を実現すべく高い共振周波数で動作させるうえで好適である。

#### 【0058】

図 15 および図 16 は、各々、マイクロミラー素子 X2 においてトーションバー 15 に代えて採用することのできる捩れ連結部の変形例を表す。マイクロミラー素子 X2 においては、求められる特性に応じて、各々が以下の形状を有する一对の捩れ連結部をトーションバー 15 に代えて採用してもよい。

#### 【0059】

図 15 には、第 1 の変形例としてトーションバー 15A を表す。トーションバー 15A は、均一幅で均一な肉厚の単純な矩形断面形状の単一のトーションバーである。このトーションバー 15A には、剛性を低下させるための穴（図 4 参照）や、剛性を向上させるための補強リブを設けてもよい。また、トーションバー 15A の厚さや幅をミラー部 11 とフレーム 12 との間で変化させるようにしてもよい（図 5、図 8、図 9 参照）。更に、複数のトーションバーを並設してもよい（図 5～図 7 参照）。

#### 【0060】

図 16 には、第 2 の変形例としてのトーションバー 15B を表す。トーションバー 15B は、十字形の断面形状を有し、その幅がミラー部 11 からフレーム 12 にかけて漸減している。トーションバー 15B は、幅がミラー部 11 からフレーム 12 にかけて漸減することに代えて、フレーム 12 からミラー部 11 にかけて漸減するようにしてもよい。

#### 【0061】

図 17～図 19 は、本発明の第 3 の実施形態に係るマイクロミラー素子 X3 を示す。図 17 は、マイクロミラー素子 X3 の斜視図である。図 18 は、図 17 の線 XVIII-XVIII に沿った断面図であり、図 19 は、図 17 の線 XIX-XIX に沿った断面図である。マイクロミラー素子 X3 は、ミラー基板 10 とベース基板 20 とが絶縁層 30 を介して積層する構造を有し、ミラー基板 10 は、ミラー部 11 と、フレーム 12 と、一对のバネ 13'A, 13'B と、一对のトーションバー 15' とを有する。また、ミラー基板 10 には可動電極 14'a, 14'b が設けられ、ベース基板 20 には固定電極 21'a, 21'b が設けられている。マイクロミラー素子 X3 は、バネ 13A, 13B、可動電極 14a, 14b、固定電極 21a, 21b、および一对のトーションバー 15 に代えて、バネ 13'A, 13'B、可動電極 14'a, 14'b、固定電極 21'a, 21'b、および一对のトーションバー 15' を具備する点においてマイクロミラー X2 と異なる。

#### 【0062】

バネ 13'A, 13'B は、ミラー部 11 の揺動軸心 A3 から離れた位置にあり、ミラー基板 10 をバルクマイクロマシニング技術によって加工することにより、ミラー部 11 およびフレーム 12 と一体に形成される。本実施形態においては、バネ 13'A, 13'B は、各々、フレーム 12 側が広く、ミラー部 11 側が狭い台形状であり、ミラー部 11 の幅方向および長さ方向に均一の厚みを有する。また、バネ 13'A, 13'B は、これらの下



面とミラー部 11 の下面とが面一状となるように形成されている。

【0063】

可動電極 14' a は、図 18 によく表れているように、ミラー部 11 の下面およびバネ 13' A の下面にわたって設けられており、可動電極 14' b は、同じく図 18 によく表れているように、ミラー部 11 の下面およびバネ 13' B の下面にわたって設けられている。可動電極 14' a, 14' b の構成材料および形成手法については、可動電極 14 a, 14 b に関して上述したのと同様である。

【0064】

固定電極 21' a は、可動電極 14' a に対して適当な間隔を隔てて対向する位置にてベース基板 20 上に設けられている。固定電極 21' a と可動電極 14' a は、一組の電極からなるアクチュエータを構成する。固定電極 21' b は、可動電極 14' b に対して適当な間隔を隔てて対向する位置にてベース基板 20 上に設けられている。固定電極 21' b と可動電極 14' b は、一組の電極からなるアクチュエータを構成する。

【0065】

一对のトーションバー 15' は、ミラー部 11 およびフレーム 12 に接続し、ミラー部 11 の揺動動作における揺動軸心 A3 を規定する。トーションバー 15' は、図 18 によく表れているように、素子の厚み方向に長い厚肉部 15' a と、この厚肉部 15' a の両側に延出する薄肉部 15' b とを有する。揺動軸心 A3 は、両トーションバー 15' の厚肉部 15' a を通過する。また、単一のトーションバー 15' に含まれる両薄肉部 15' b は、揺動軸心 A3 に交差する方向に延びている。トーションバー 15' のこのような断面形状は、トーションバー 15' の捩れ剛性の獲得およびミラー部 11 における不当な変位の抑制の両方を効率よく達成するうえで好適である。厚肉部 15' a により、ミラー基板 10 ないしミラー面 11 a に垂直な方向におけるミラー部 11 の並進変位が抑制され、薄肉部 15' b により、ミラー基板 10 ないしミラー面 11 a の面内方向におけるミラー部 11 の回転変位が抑制される。

【0066】

マイクロミラー素子 X3 においては、ミラー部 11 の可動電極 14' a, 14' b を例えば正に帯電させた状態において、ベース基板 20 の固定電極 21' a を負に帯電させると、固定電極 21' a および可動電極 14' a の間に静電引力が発生し、ミラー部 11 は、バネ 13' A を下方に撓ませ且つバネ 13' B を上方に撓ませながら揺動軸心 A3 を中心として図 18 の反時計回りの方向に揺動する。これに代えて、可動電極 14' a, 14' b を正に帯電させた状態において固定電極 21' b を負に帯電させると、固定電極 21' b および可動電極 14' b の間に静電引力が発生し、ミラー部 11 はバネ 13' B を下方に撓ませ且つバネ 13' A を上方に撓ませながら揺動軸心 A3 を中心として図 18 の時計回りの方向に揺動することとなる。以上のようなミラー部 11 の揺動駆動により、ミラー面 11 a により反射される光の反射方向を切り換えることができる。

【0067】

マイクロミラー素子 X3 においては、可動電極 14' a は、ミラー部 11 の下面およびこれに面一のバネ 13' A の下面にわたって設けられており、且つ、可動電極 14' b は、ミラー部 11 の下面およびこれに面一のバネ 13' B の下面にわたって設けられている。ベース基板 20 の内底面には、可動電極 14' a, 14' b に適切に対向する広い面積の固定電極 21' a, 21' b を設けることができる。このように、マイクロミラー素子 X3 は、比較的大きな可動電極を具備し、静電力発生面積の比較的大きな平板電極型のアクチュエータを具備するうえで、好適である。静電力発生面積の大きなアクチュエータほど、大きな駆動力を得るうえで好適である。

【0068】

図 20 は、本発明の第 4 の実施形態に係るマイクロミラー素子 X4 を表し、図 2 と同様の箇所に相当する断面図である。マイクロミラー素子 X4 は、バネ 13 A, 13 B に代えて上述の一对のバネ 13 I を有し且つ支持バネ 16 を有する点においてマイクロミラー素子 X1 と異なり、他の構成についてはマイクロミラー素子 X1 と同様である。



## 【0069】

支持バネ16は、ミラー部11の全幅にわたって延びており、ベース部20およびミラー部11を連結する。支持バネ16の両側面にはノッチ16aが形成されている。両ノッチ16aにより支持バネ16の首部（薄肉部）が構成され、その首部を揺動軸心としてミラー部11は揺動する。支持バネ16には、剛性を低下させるための穴や、剛性を向上させるための補強リブを設けてもよい。

## 【0070】

マイクロミラー素子X4においては、マイクロミラー素子X1に関して上述したのと同様に、一対のバネ13Iの存在に起因して、ミラー部11について、高い回転剛性を得るとともに、小さな慣性モーメントを達成することが可能である。加えて、マイクロミラー素子X4では、支持バネ16の首部を揺動軸心としてミラー部11が揺動動作可能であるので、より安定な揺動動作を実現しやすい。このようなマイクロミラー素子X4は、高速揺動動作を実現すべく高い共振周波数で動作させるうえで好適である。

## 【0071】

図21～図23は、本発明の第5の実施形態に係るマイクロミラー素子X5を表す。図21は、マイクロミラー素子X5の斜視図である。図22は、図21の線XXII-XXIIに沿った断面図であり、図23は、図22の線XXIII-XXIIIに沿った断面図である。マイクロミラー素子X5は、ミラー基板50とベース基板20とが絶縁層30を介して積層する構造を有する。

## 【0072】

ミラー基板50は、ミラー部51と、これを囲むフレーム52と、アクチュエート部53A、53Bと、薄肉部54A、54Bと、バネ55A、55Bと、一対のトーションバー56とを有する。薄肉部54Aは、ミラー部51およびアクチュエート部53Aを連結し、バネ55Aは、アクチュエート部53Aおよびフレーム52を連結する。薄肉部54Bは、ミラー部51およびアクチュエート部53Bを連結し、バネ55Bは、アクチュエート部53Bおよびフレーム52を連結する。トーションバー56は、ミラー部51およびフレーム52を連結する。ミラー基板50は、第1の実施形態においてミラー基板10に関して上述したのと同様に、例えば、PやAsなどのn型不純物やBなどのp型不純物をドーピングすることによって導電性を付与されたシリコン製の基板から、バルクマイクロマシニング技術によって成形されたものである。

## 【0073】

ミラー部51の表面にはミラー面51aが設けられており、アクチュエート部53A、53Bの裏面には、各々、可動電極53a、53bが設けられている。これらミラー面51aおよび可動電極53a、53bは、蒸着法などにより所定の金属材料を成膜した後に当該金属膜をパターニングすることにより形成することができる。不純物のドーピングによってミラー基板50の導電性を十分に高く設定する場合には、アクチュエート部53A、53B自体が電極として機能し得るので、可動電極53a、53bを設けなくともよい。

## 【0074】

一対のトーションバー56は、ミラー部51およびフレーム52に接続し、ミラー部51の揺動動作における揺動軸心A5を規定する。トーションバー56の各々は、矩形の断面形状を有する。本発明においては、トーションバー56の各々は、他の断面形状を有していてもよい。そのような断面形状としては、例えば十字形が挙げられる。

## 【0075】

マイクロミラー素子X5は、ミラー基板10に代えてこのようなミラー基板50を有する点においてマイクロミラー素子X1と異なり、他の構成についてはマイクロミラー素子X1と同様である。

## 【0076】

マイクロミラー素子X5においては、ミラー部51の可動電極53a、53bを例えば正に帯電させた状態において、ベース基板20の固定電極21aを負に帯電させると、固定電極21aおよび可動電極53aの間に静電引力が発生し、ミラー部51は、バネ55

Aを下方に撓ませ且つバネ55Bを上方に撓ませながら揺動軸心A5を中心として図22の反時計回りの方向に揺動する。これに代えて、可動電極53a, 53bを正に帯電させた状態において固定電極21bを負に帯電させると、固定電極21bおよび可動電極53bの間に静電引力が発生し、ミラー部51はバネ55Bを下方に撓ませ且つバネ55Aを上方に撓ませながら揺動軸心A5を中心として図22の時計回りの方向に揺動することとなる。以上のようなミラー部51の揺動駆動により、ミラー面51aにより反射される光の反射方向を切り換えることができる。

#### 【0077】

マイクロミラー素子X5においては、バネ55Aは、その撓み剛性ないし曲げ剛性に由来する撓み抵抗を、アクチュエート部53Aおよび薄肉部54Aを介してミラー部51の揺動動作に対して作用させ、バネ55Bは、その撓み剛性ないし曲げ剛性に由来する撓み抵抗を、アクチュエート部53Bおよび薄肉部54Bを介してミラー部51の揺動動作に対して作用させる。したがって、マイクロミラー素子X5においても、マイクロミラー素子X1におけるのと同様に、バネ55A, 55Bの撓み剛性を適宜調節することによりミラー部51について所望の高回転剛性を得ることが可能である。本素子では、薄肉部54A, 54Bの撓み剛性を適宜調節することによっても、ミラー部51の回転剛性を調整することが可能である。

#### 【0078】

また、ミラー部51の揺動端には揺動方向に駆動力が作用するところ、ミラー部51の揺動動作に伴って撓み変形するバネ55Bは、アクチュエート部53Aおよび薄肉部54Aを介して、ミラー部51ないしその一方の揺動端に対し、揺動方向とは逆の方向に引張り力を作用させる。また、ミラー部51の揺動動作に伴って撓み変形するバネ55Bは、アクチュエート部53Bおよび薄肉部54Bを介して、ミラー部51ないしその他方の揺動端に対し、揺動方向とは逆の方向に引張り力を作用させる。したがって、マイクロミラー素子X5においては、ミラー部51について十分な薄肉化を達成して所望の小さな慣性モーメントを達成できるとともに、バネ55A, 55Bの撓み剛性を適宜調節することによりミラー部51が揺動方向に不当に変形することを回避することができる。本素子では、薄肉部54A, 54Bの撓み剛性を適宜調節することによっても、ミラー部51の不当な変形を抑制することが可能である。

#### 【0079】

以上のように、マイクロミラー素子X5においては、ミラー部51について、高い回転剛性を得るとともに、小さな慣性モーメントを達成することが可能なのである。このようなマイクロミラー素子X5は、高速揺動動作を実現すべく高い共振周波数で動作させるうえで好適である。

#### 【0080】

以上、本発明の種々の実施形態を説明したが、本発明はこれらの実施形態によって制限されるものではなく、添付の請求の範囲に記載された思想と範囲から逸脱しない限り種々な変形が可能である。例えば、上記いずれの実施形態も、本発明をマイクロミラー素子に適用しているが、ミラー部11, 51に代えて、回折格子、光源、または光検出器を設けた揺動部としてもよい。また、本発明に係るマイクロ揺動素子は、フレームと揺動部の相対回転変位を検出する変位検出手段を備えていてもよい。

#### 【0081】

以上のまとめとして、本発明の構成およびそのバリエーションを以下に付記として列挙する。

#### 【0082】

(付記1) 揺動部と、フレームと、当該揺動部およびフレームを連結する第1バネおよび第2バネと、を備え、

前記揺動部は、前記第1バネおよび前記第2バネの間に位置し、

前記第1バネおよび前記第2バネは、各々、前記揺動部の揺動動作に伴って撓み変形可能である、マイクロ揺動素子。

(付記2) 揺動部と、第1アクチュエート部と、第2アクチュエート部と、フレームと、前記揺動部および前記第1アクチュエート部を連結する第1薄肉部と、前記揺動部および前記第2アクチュエート部を連結する第2薄肉部と、前記第1アクチュエート部および前記フレームを連結する第1バネと、前記第2アクチュエート部および前記フレームを連結する第2バネと、を備え、

前記第1および第2アクチュエート部は、前記第1および第2バネの間に位置し、

前記揺動部は、前記第1および第2アクチュエート部の間に位置し、

前記第1および第2アクチュエート部の各々は、前記揺動部の揺動方向に変位可能であり、

前記第1バネは、前記第1アクチュエート部の変位に伴って撓み変形可能であり、

前記第2バネは、前記第2アクチュエート部の変位に伴って撓み変形可能である、マイクロ揺動素子。

(付記3) 前記第1および第2バネは板バネである、付記1または2に記載のマイクロ揺動素子。

(付記4) 前記揺動部の揺動動作における揺動軸心を規定する少なくとも1つのトーションバーを更に備える、付記1から3のいずれか1つに記載のマイクロ揺動素子。

(付記5) 前記トーションバーにおける、前記揺動軸心に直交する断面は、十字形である、付記4に記載のマイクロ揺動素子。

(付記6) 前記第1バネ、前記第2バネ、および前記トーションバーの少なくとも1つは、少なくとも1つの穴を有する、付記1から5のいずれか1つに記載のマイクロ揺動素子。

(付記7) 前記第1バネ、前記第2バネ、および前記トーションバーの少なくとも1つの幅は、前記揺動部、前記第1アクチュエート部、または前記第2アクチュエート部から前記フレームにかけて、変化している、付記1から6のいずれか1つに記載のマイクロ揺動素子。

(付記8) 前記第1バネ、前記第2バネ、および前記トーションバーの少なくとも1つの厚さは、前記揺動部、前記第1アクチュエート部、または前記第2アクチュエート部から前記フレームにかけて、変化している、付記1から7のいずれか1つに記載のマイクロ揺動素子。

(付記9) 前記揺動部から前記揺動方向に離隔するベース部と、当該ベース部および前記揺動部を連結する第3バネとを、更に備える、付記1から8のいずれか1つに記載のマイクロ揺動素子。

(付記10) 前記第3バネは、前記第1および前記第2バネの離隔方向に離隔する一对のノッチを有する、付記9に記載のマイクロ揺動素子。

(付記11) 前記揺動部の揺動動作における駆動力を発生させるためのアクチュエータを更に備える、付記1から10のいずれか1つに記載のマイクロ揺動素子。

(付記12) 前記アクチュエータにより発生される駆動力の周波数と、前記揺動部の揺動動作の共振周波数との差は、当該共振周波数の1%以内である、付記11に記載のマイクロ揺動素子。

(付記13) 前記揺動部は、光を反射するためのミラー面を有する、付記1から12のいずれか1つに記載のマイクロ揺動素子。

(付記14) 揺動主部と、揺動可能な第1フレームと、第2フレームと、前記揺動主部および第1フレームを連結する第1バネおよび第2バネと、前記第1フレームおよび前記第2フレームを連結する第3バネおよび第4バネと、を備え、

前記揺動主部は、前記第1バネおよび前記第2バネの間に位置し、

前記第1バネおよび前記第2バネは、各々、前記揺動主部の揺動動作に伴って撓み変形可能であり、

前記第1フレームは、前記第3バネおよび前記第4バネの間に位置し、

前記第3バネおよび前記第4バネは、各々、前記第1フレームの揺動動作に伴って撓み変形可能である、マイクロ揺動素子。

(付記 15) 前記第 1 バネおよび前記第 2 バネの離隔方向と、前記第 3 バネおよび前記第 4 バネの離隔方向とは、交差する、付記 14 に記載のマイクロ揺動素子。

(付記 16) 前記揺動主部の揺動動作における第 1 揺動軸心を規定する少なくとも 1 つのトーションバーと、前記第 1 フレームの揺動動作における第 2 揺動軸心を規定する少なくとも 1 つのトーションバーと、を更に備える、付記 15 に記載のマイクロ揺動素子。

(付記 17) 前記第 1 揺動軸心および前記第 2 揺動軸心は交差する、付記 16 に記載のマイクロ揺動素子。

(付記 18) 前記第 1 揺動軸心および前記第 2 揺動軸心の交差角度は  $90^\circ$  である、付記 17 に記載のマイクロ揺動素子。

【図面の簡単な説明】

【0083】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に係るマイクロミラー素子の斜視図である。

【図 2】図 1 の線 II-II に沿った断面図である。

【図 3】本発明に係るマイクロミラー素子におけるバネの変形例を表す。(a) は平面図であり、(b) は側面図である。

【図 4】本発明に係るマイクロミラー素子におけるバネの他の変形例を表す。(a) は平面図であり、(b) は側面図であり、(c) は (a) における線 IV-IV に沿った断面図である。

【図 5】本発明に係るマイクロミラー素子におけるバネの他の変形例を表す。(a) は平面図であり、(b) は側面図であり、(c) は (a) における線 V-V に沿った断面図である。

【図 6】本発明に係るマイクロミラー素子におけるバネの他の変形例を表す。(a) は平面図であり、(b) は (a) における線 VI-VI に沿った断面図である。

【図 7】本発明に係るマイクロミラー素子におけるバネの他の変形例を表す。(a) は平面図であり、(b) は (a) における線 VII-VII に沿った断面図である。

【図 8】本発明に係るマイクロミラー素子におけるバネの他の変形例を表す。(a) は平面図であり、(b) は (a) における線 VIII-VIII に沿った断面図である。

【図 9】本発明に係るマイクロミラー素子におけるバネの他の変形例を表す。(a) は平面図であり、(b) は側面図である。

【図 10】アクチュエータとして櫛歯電極を採用する場合の、図 1 の線 II-II に沿った断面図である。

【図 11】アクチュエータとして櫛歯電極を採用する場合の、図 1 の線 XI-XI に沿った断面図である。

【図 12】本発明の第 2 の実施形態に係るマイクロミラー素子の斜視図である。

【図 13】図 12 における線 XIII-XIII に沿った断面図である。

【図 14】図 12 における線 XIV-XIV に沿った断面図である。

【図 15】図 12 に示すマイクロミラー素子におけるトーションバーの変形例を表す。(a) は平面図であり、(b) は (a) における線 XV-XV に沿った断面図である。

【図 16】図 12 に示すマイクロミラー素子におけるトーションバーの変形例を表す。(a) は平面図であり、(b) は (a) における線 XVI-XVI に沿った断面図である。

【図 17】本発明の第 3 の実施形態に係るマイクロミラー素子の斜視図である。

【図 18】図 17 における線 XVIII-XVIII に沿った断面図である。

【図 19】図 17 における線 XIX-XIX に沿った断面図である。

【図 20】本発明の第 4 の実施形態に係るマイクロミラー素子の断面図である。

【図 21】本発明の第 5 の実施形態に係るマイクロミラー素子の斜視図である。

【図 22】図 21 の線 XXII-XXII に沿った断面図である。

【図 23】図 21 の線 XXIII-XXIII に沿った断面図である。

【図 24】従来のマイクロミラー素子の分解斜視図である。

【図 25】組み立てられた状態における図 24 のマイクロミラー素子の線 XXV-XXV に

沿った断面図である。

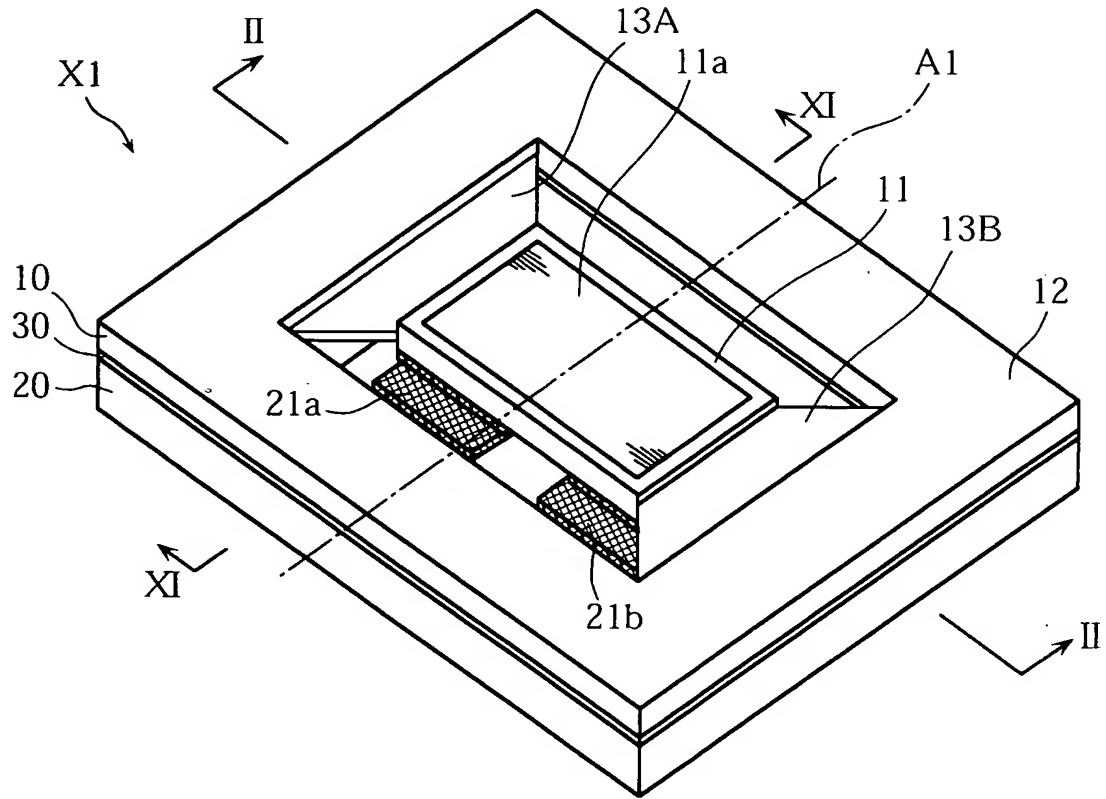
【符号の説明】

【0084】

X 1, X 2, X 3, X 4, X 5, X 6	マイクロミラー素子
1 0, 5 0, 6 0	ミラー基板
1 1, 5 1, 6 1	ミラー部
1 1 a, 5 1 a, 6 4	ミラー面
1 2, 5 2, 6 2	フレーム
1 3 A ~ 1 3 I, 1 3 ' A, 1 3 ' B, 5 5 A, 5 5 B	バネ
1 4 a, 1 4 b, 1 4 ' a, 1 4 ' b, 5 3 a, 5 3 b	可動電極
1 5, 1 5 ', 1 5 A, 1 5 B, 5 6	トーションバー
1 6	支持バネ
2 0, 6 6	ベース基板
2 1 a, 2 1 b, 2 1 ' a, 2 1 ' b	固定電極

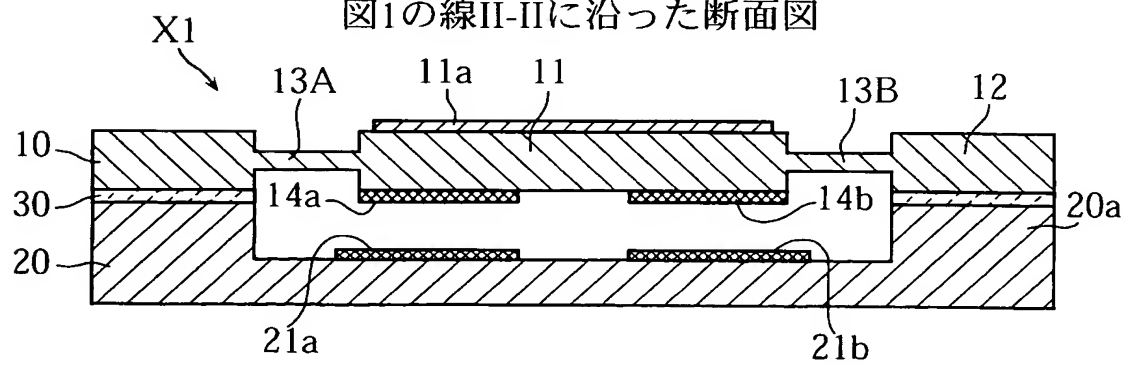
【書類名】 図面  
【図 1】

第1の実施形態のマイクロミラー素子



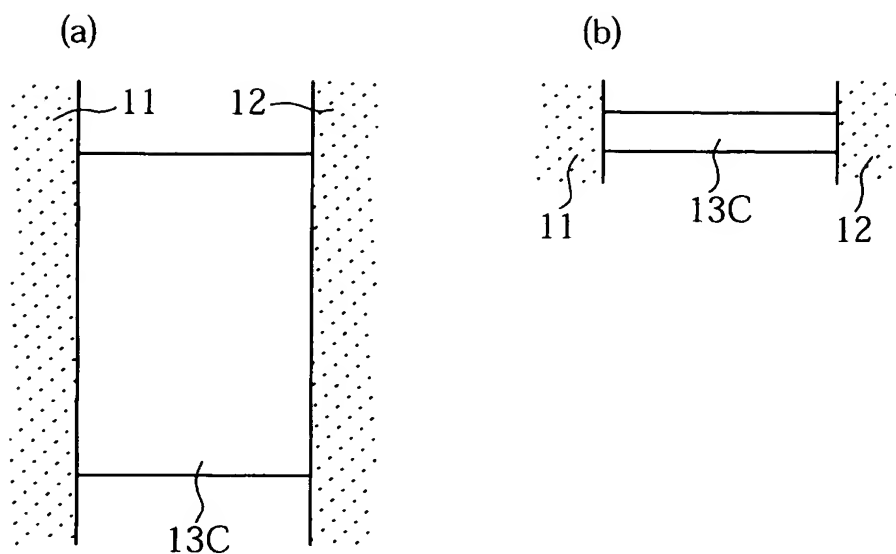
【図 2】

図1の線II-IIに沿った断面図



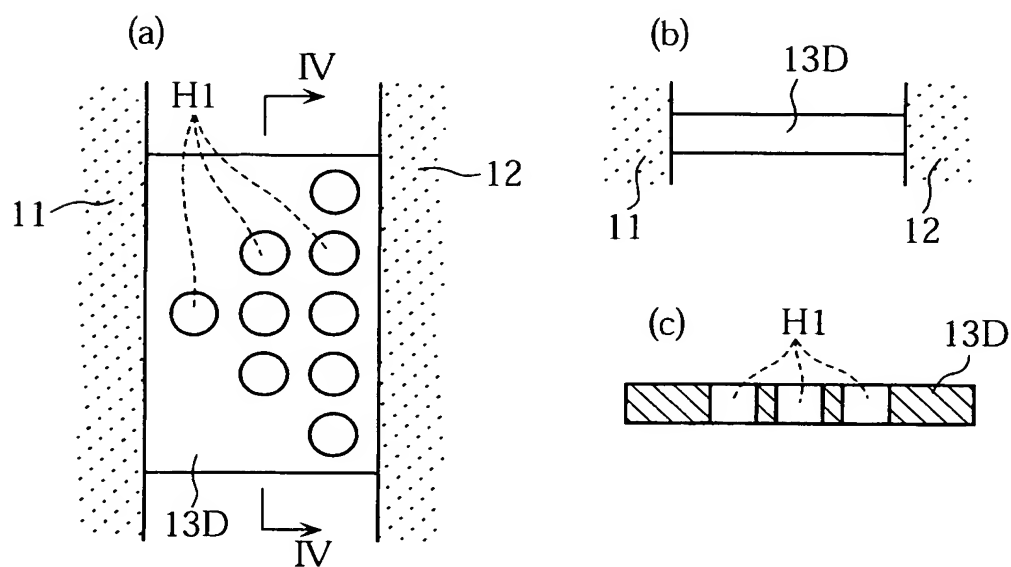
【図 3】

バネの変形例



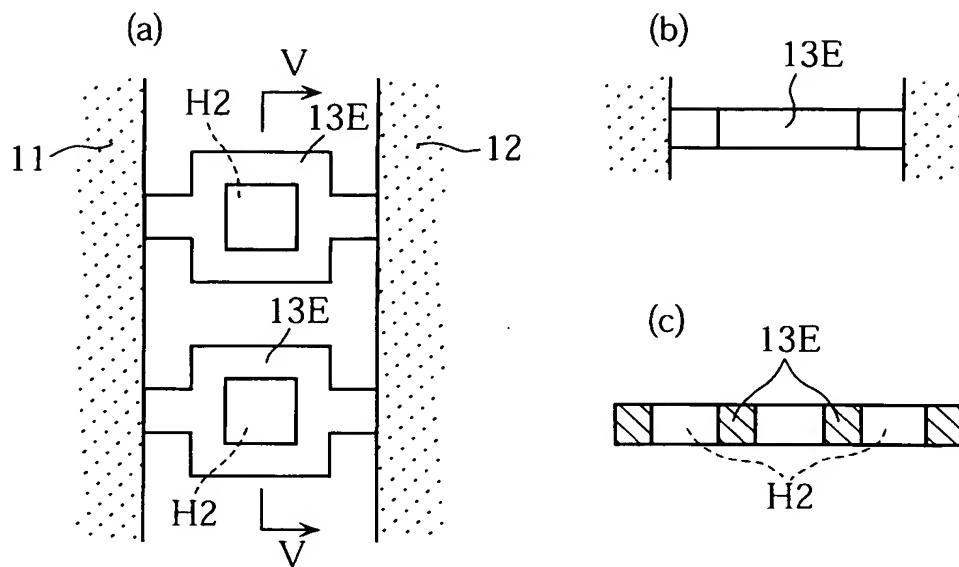
【図 4】

バネの変形例



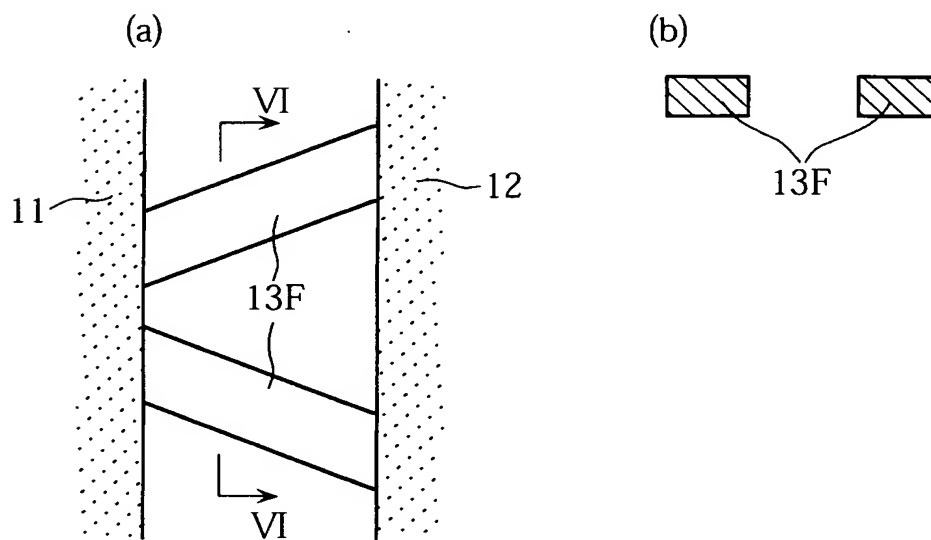
【図 5】

バネの変形例



【図 6】

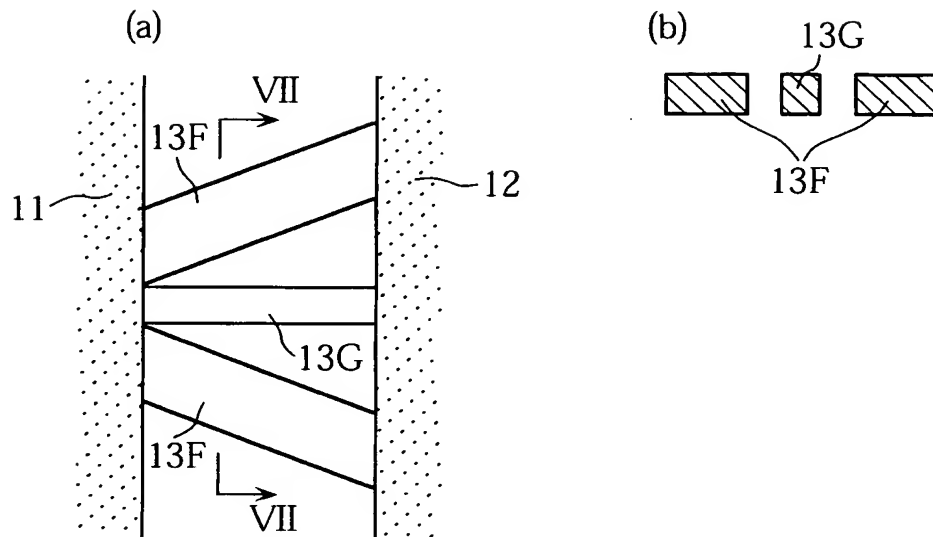
バネの変形例





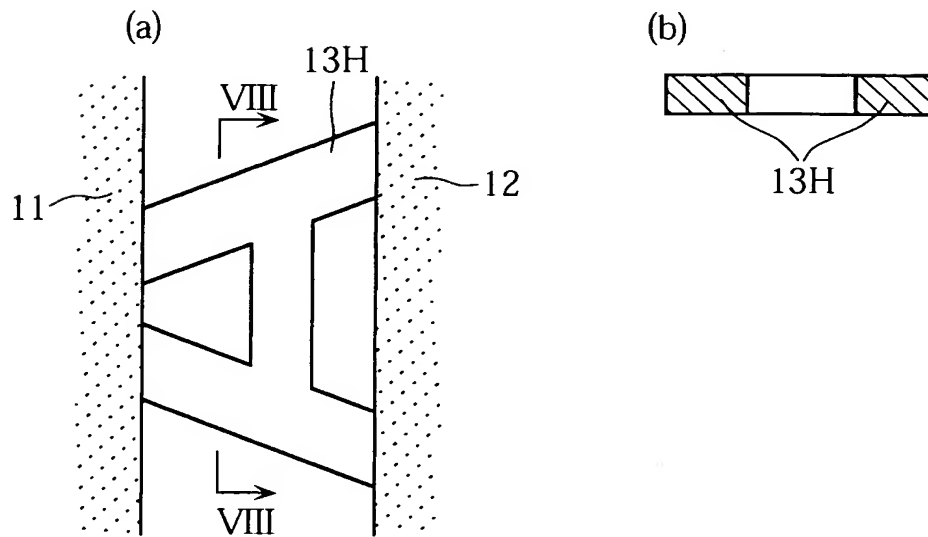
【図 7】

バネの変形例



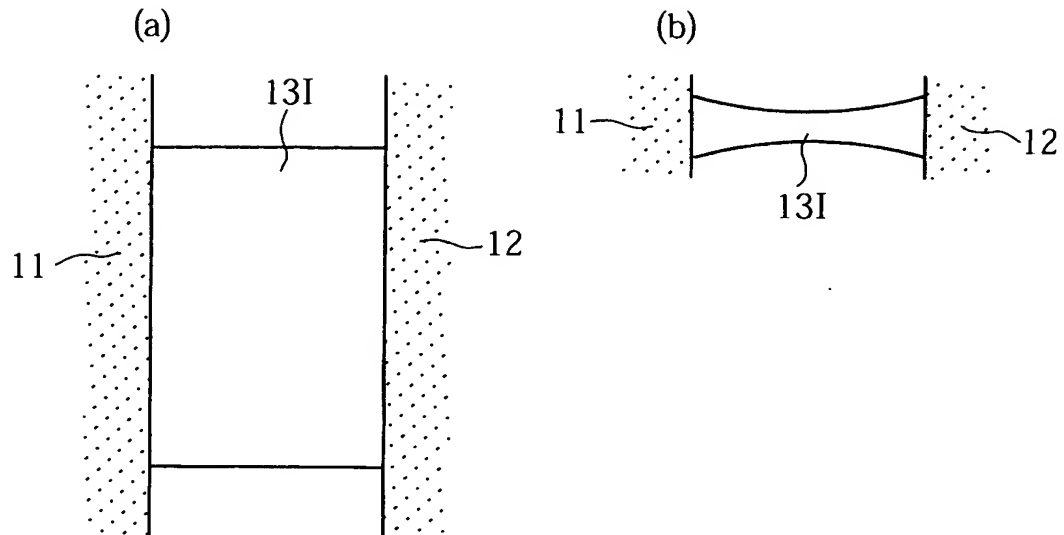
【図 8】

バネの変形例



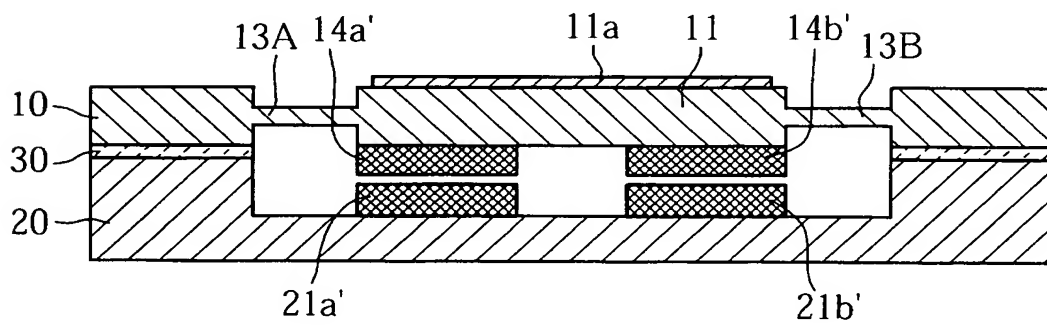
【図 9】

バネの変形例



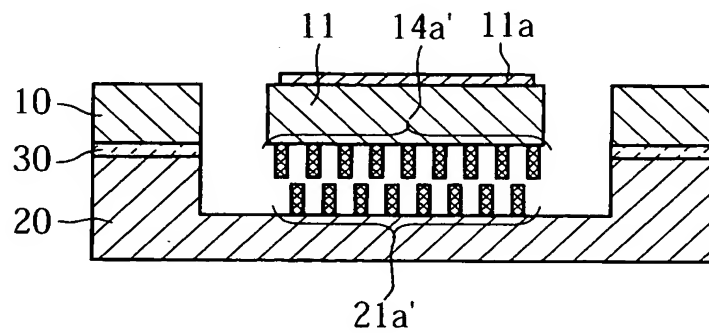
【図 10】

櫛歯電極を採用する場合の図1の線II-IIに沿った断面図



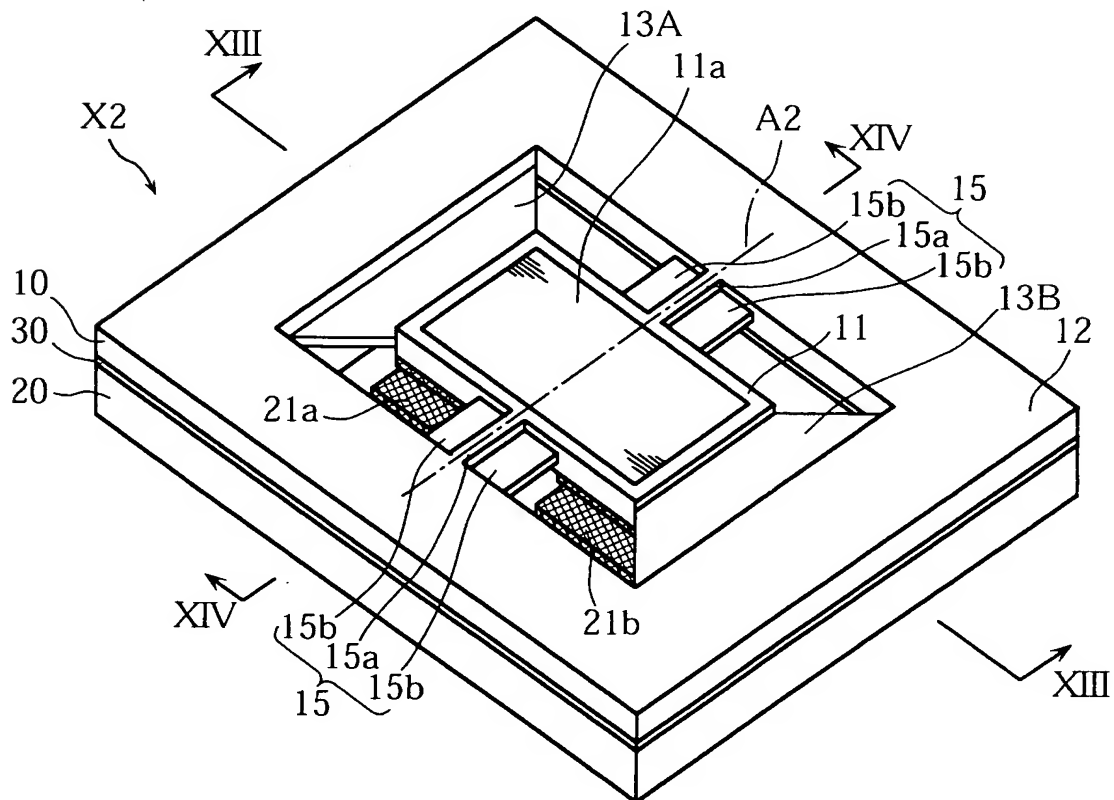
【図 11】

櫛歯電極を採用する場合の図1の線XI-XIに沿った断面図



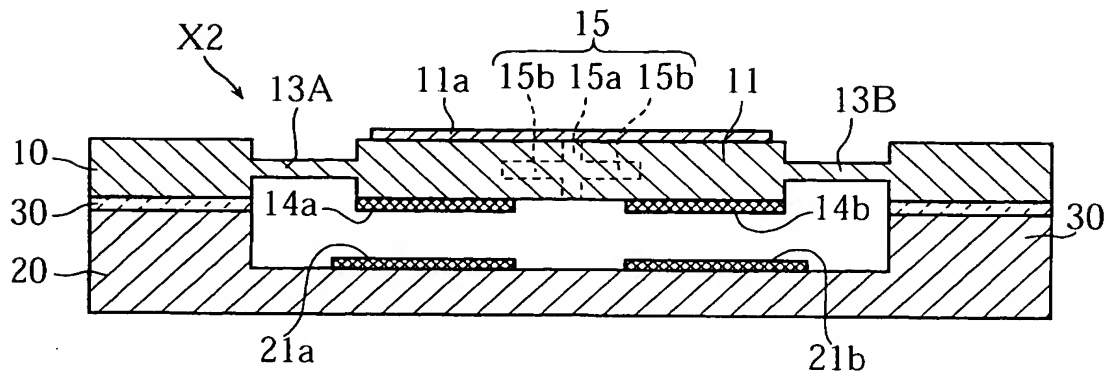
【図 12】

第2の実施形態のマイクロミラー素子



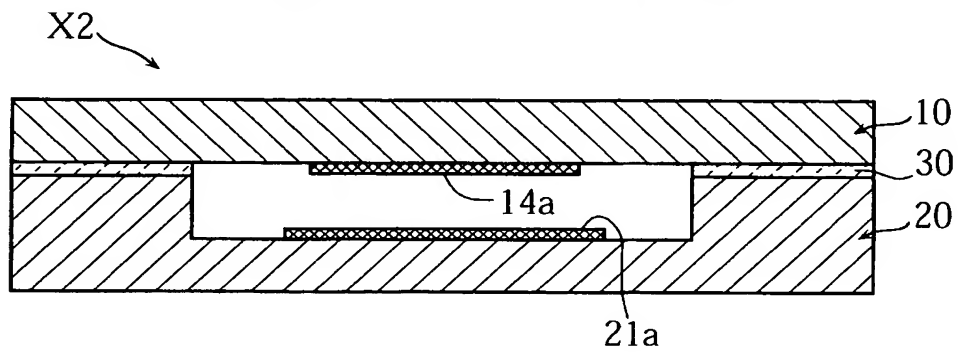
【図13】

図12の線XIII-XIIIに沿った断面図



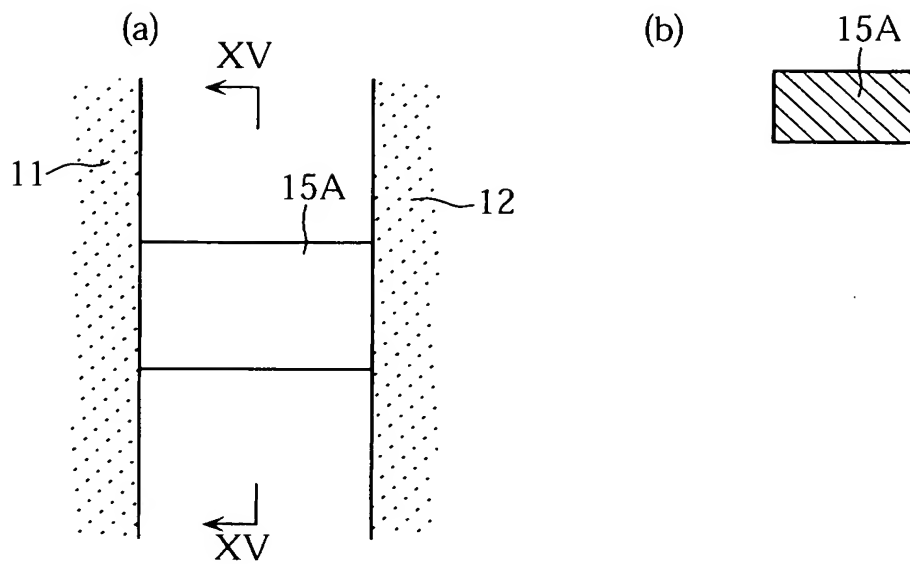
【図14】

図12の線XIV-XIVに沿った断面図



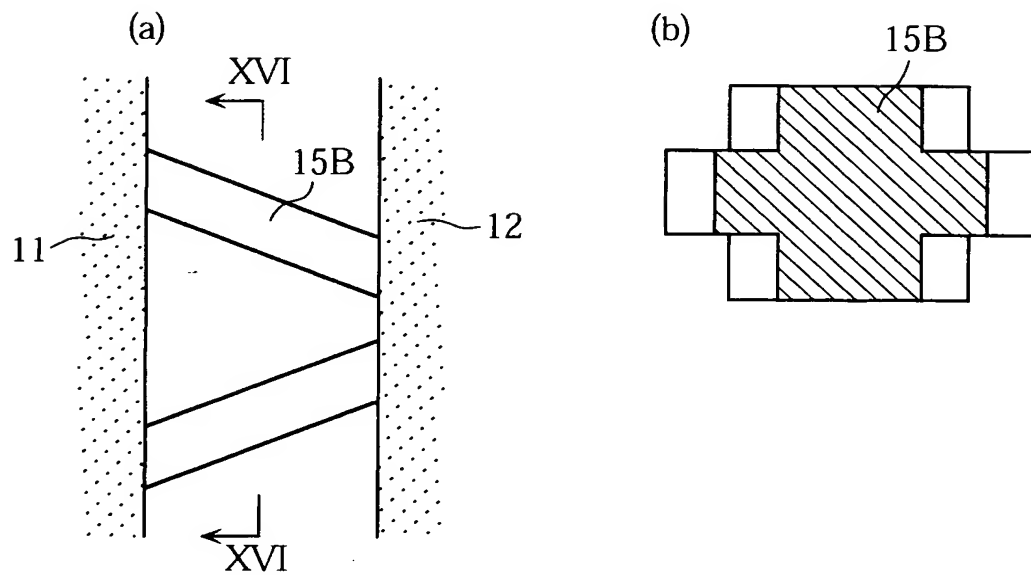
【図 15】

トーションバーの変形例



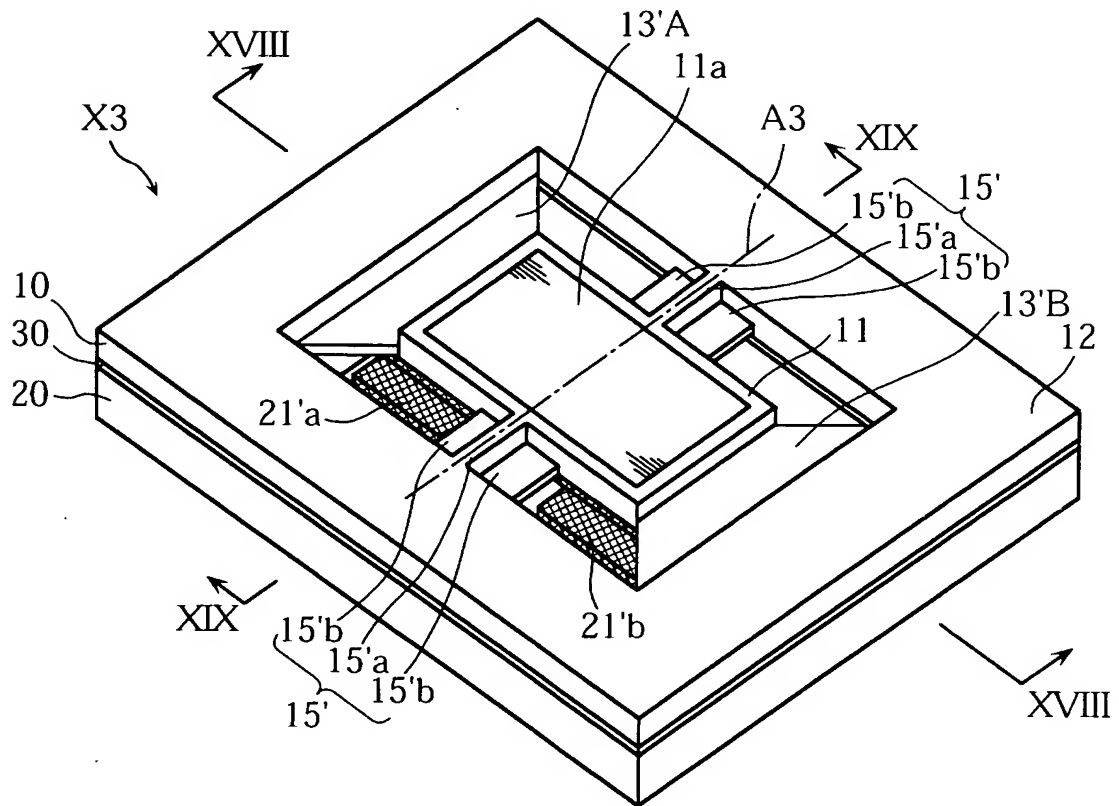
【図 16】

トーションバーの変形例



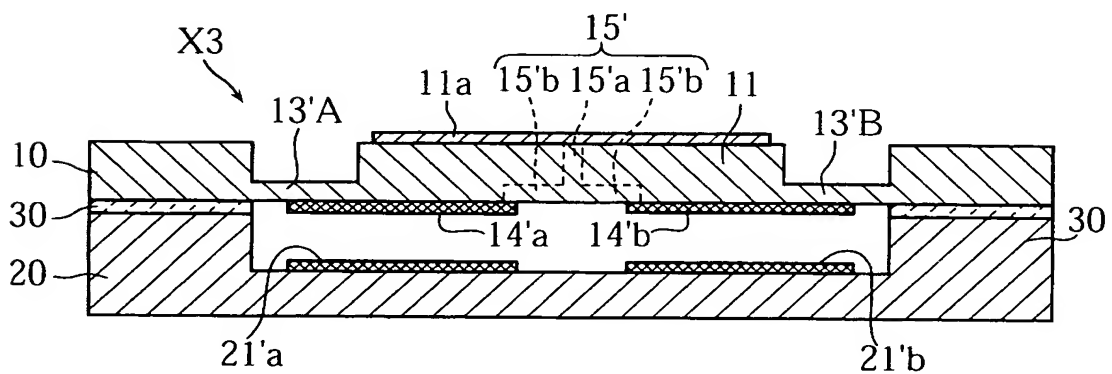
【図17】

第3の実施形態のマイクロミラー素子



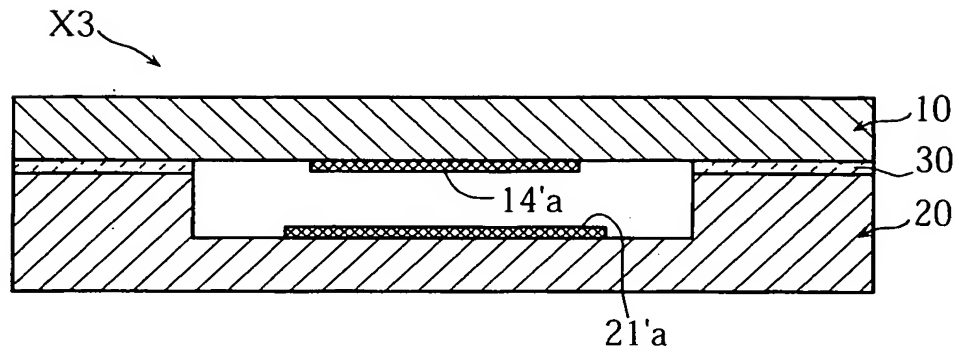
【図18】

図17の線XVIII-XVIIIに沿った断面図



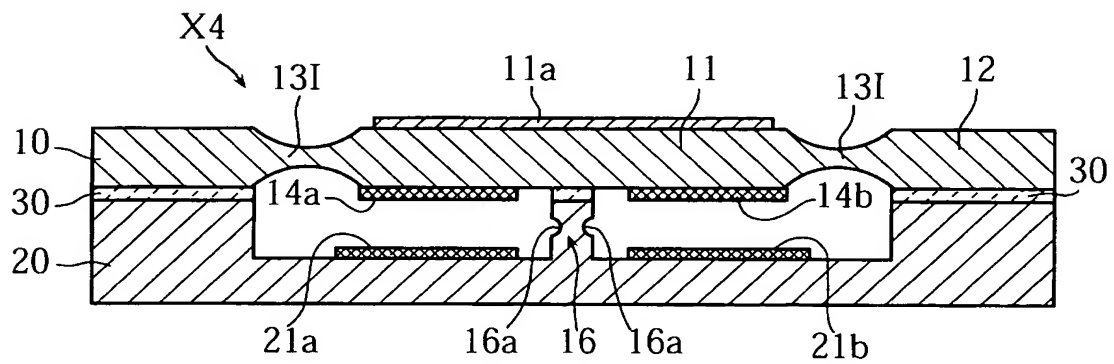
【図 19】

図17の線XIX-XIXに沿った断面図



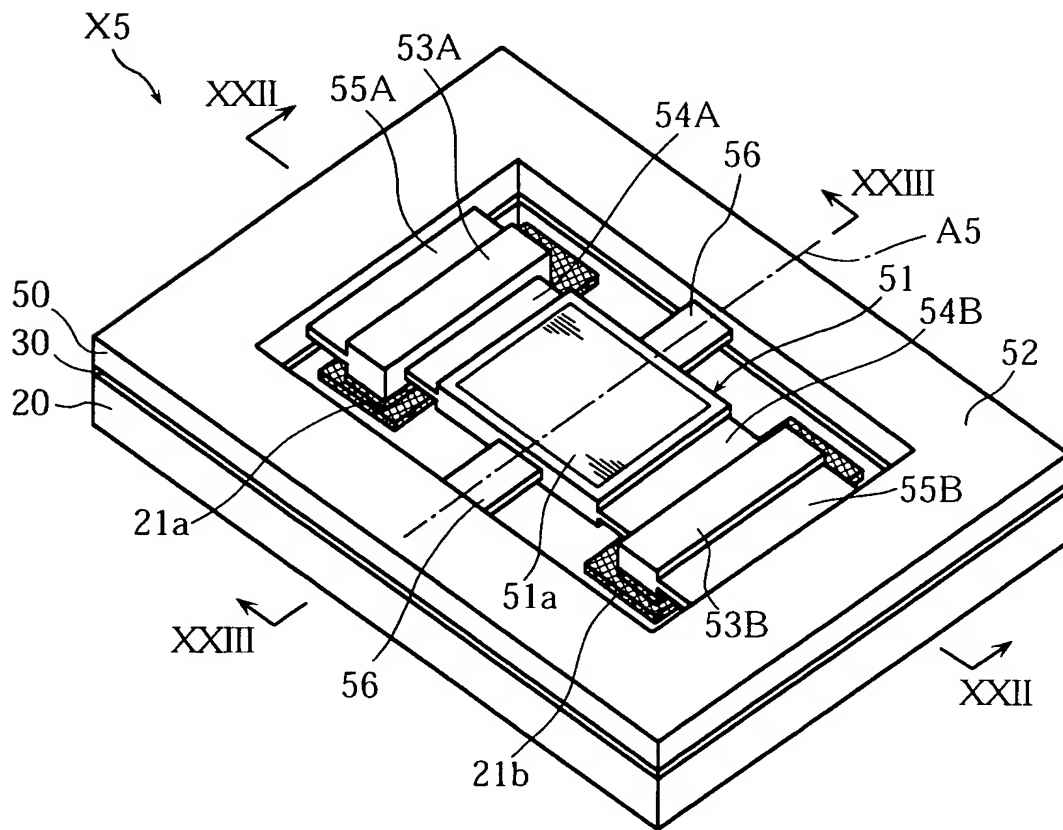
【図 20】

第4の実施形態のマイクロミラー素子



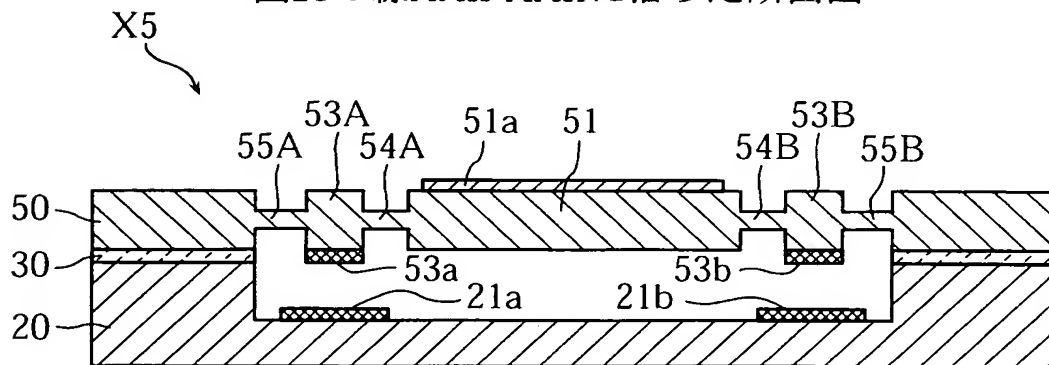
【図 2 1】

第5の実施形態のマイクロミラー素子



【図 2 2】

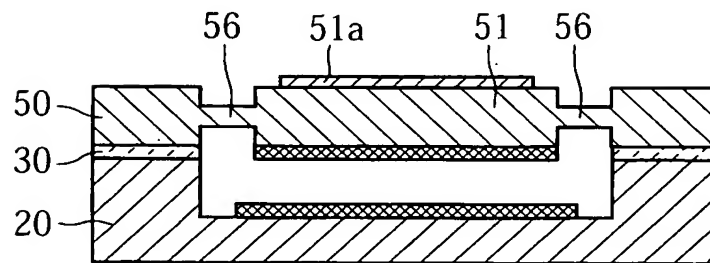
図21の線XXII-XXIIに沿った断面図





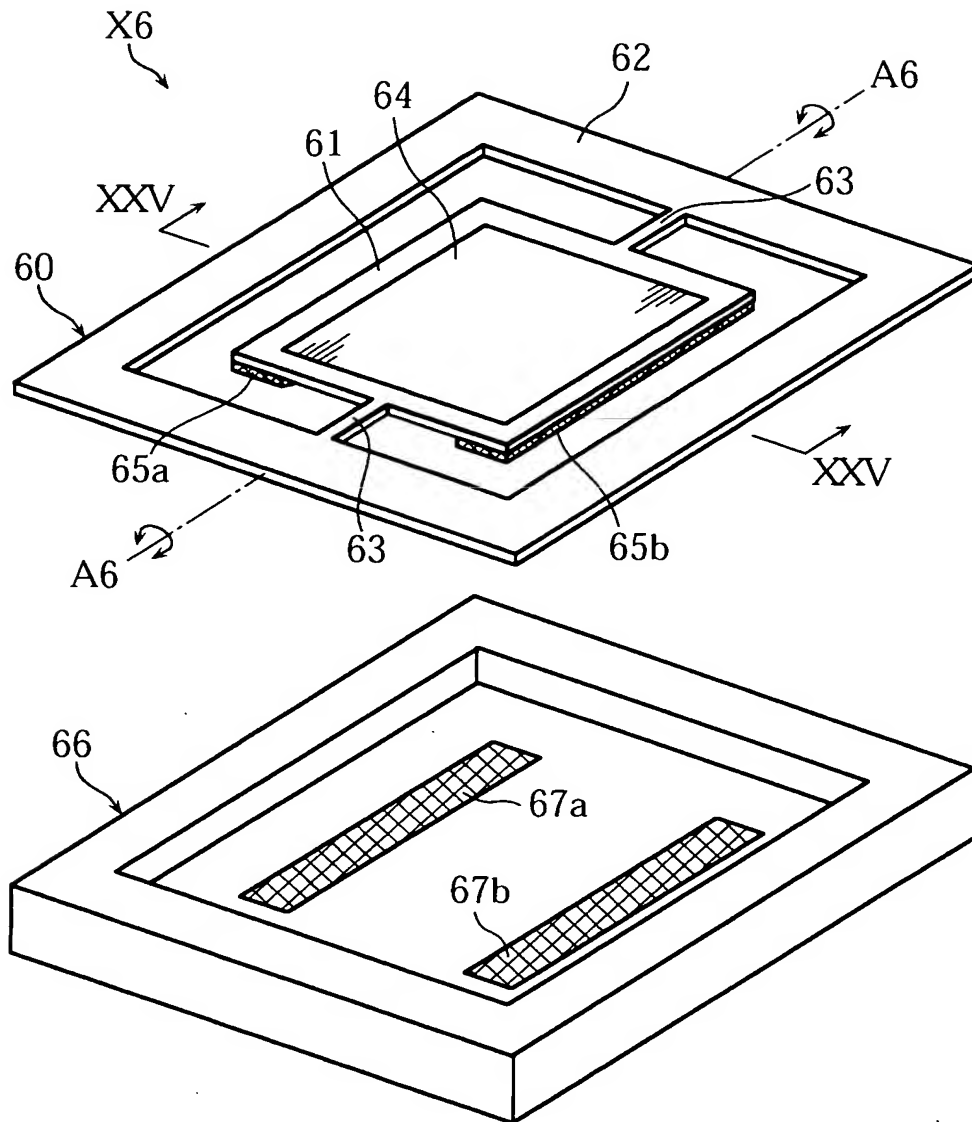
【図 23】

図21の線XXIII-XXIIIに沿った断面図



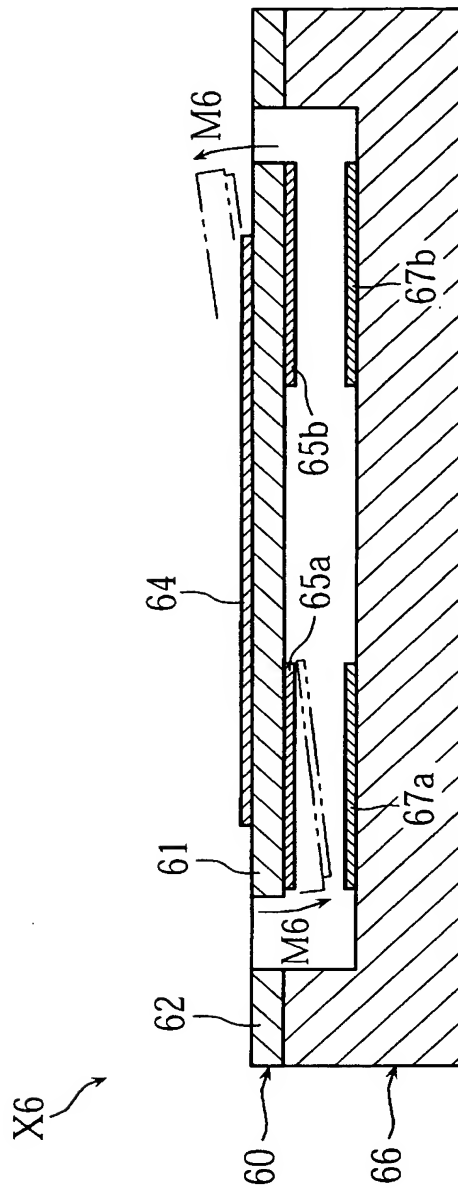
【図 24】

従来のマイクロミラー素子



【図 25】

組立て状態における図24の線XXV-XXVに沿った断面図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高い共振周波数で動作させるのに適したマイクロ揺動素子を提供すること。

【解決手段】 本発明に係るマイクロ揺動素子 X 1 は、揺動部 1 1 と、フレーム 1 2 と、揺動部 1 1 およびフレーム 1 2 を連結するバネ 1 3 A, 1 3 B と、を備える。揺動部 1 1 は、バネ 1 3 A, 1 3 B の間に位置し、バネ 1 3 A, 1 3 B は、各々、揺動部 1 1 の揺動動作に伴って撓み変形可能である。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 4 1 2 3 3 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 2 2 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社

特願 2 0 0 3 - 4 1 2 3 3 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 3 9 8 0 6 7 2 7 0 ]

1. 変更年月日

2 0 0 3 年 5 月 3 0 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目 3 番地 1 2

氏 名

富士通メディアデバイス株式会社